



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

KONSTRUKCE DRONU PRO VYUŽITÍ V SENZOROVÉ TECHNICE VYROBENÉHO 3-D TISKEM

DRONE CONSTRUCTION FOR USE IN SENSOR TECHNOLOGY MADE BY 3D PRINTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Česák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Adámek, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Radim Česák

ID: 203200

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Konstrukce dronu pro využití v senzorové technice vyrobeného 3-D tiskem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s konstrukcemi dronů a jejich využitím. Dále se seznamte s mikrokontrolérem řady Espressif ESP32 a jeho možnostmi.

Realizujte základní části konstrukce dronu, jehož výroba bude provedena pomocí 3-D tisku. Jako řídicí jednotku využijte mikrokontrolér řady Espressif ESP32. Dron musí nést kapsli pro využití v senzorové technice o váze minimálně 200 g.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Martin Adámek, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo na základě informací získaných z internetu navrhnout konstrukci a vytvořit dron pomocí 3-D tisku, který bude speciálně použit v senzorové technice. Úvod práce se zaměřuje na teoretické seznámení s problematikou, popis potřebných součástí a návrh rámu dronu v 3-D návrhovém prostředí. Druhá část práce se zabývá tiskem rámu dronu, kompletací dronu, programováním řídicí jednotky, kterou je ESP32 DevKit v1 a jeho testováním.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dron, bezkartáčový motor, 3-D tisk, ESP32, ESC, gyroskop, akcelerometr

ABSTRACT

Goal of this term paper based on information gained from the internet was to design construction and then make drone with help of 3D printer, which will be used in sensor technology. In the first part term paper deals with familiarizing with problems that come with choosing parts and creating the frame in free 3-D modeling program. Second part of this work deals with practical construction of the drone, programming of its flight controller, which is ESP32 DevKit v1 and its testing.

KEYWORDS

Drone, brushless motor, 3-D printing, ESP32, ESC, gyroscope, accelerometer

ČESÁK, R. *Konstrukce dronu pro využití v senzorové technice vyrobeného 3-D tiskem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2020. 53 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Adámek, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Adámkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce, mému kolegovi Adamu Dvorskému za cenné rady ohledně programování a mé drahé přítelkyni Žanetě Opatové za gramatickou a estetickou úpravu.

OBSAH

Úvod	1
1 Dron	2
1.1 Historie.....	2
1.2 Rozdělení	5
1.2.1 Dle použití.....	6
1.2.2 Podle velikosti vrtulí.....	7
1.2.3 Podle počtu vrtulí.....	7
1.3 Parametry dronů.....	9
1.4 Letové režimy	9
1.5 Komponenty dronu	10
1.5.1 Rám.....	10
1.5.2 Motory	11
1.5.3 Vrtule	12
1.5.4 ESC – Electronic Speed Controller	12
1.5.5 FC – Flight Controller.....	13
1.5.6 Komunikační zařízení	13
1.5.7 Baterie	13
1.6 Právní předpisy v ČR.....	14
2 3-D tisk	15
2.1 FDM.....	15
2.2 SLA.....	15
2.3 SLS.....	15
2.4 DMLS	16
3 Výběr komponentů	17
3.1 Motory	17
3.2 Vrtule	17
3.3 ESC	18
3.4 FC.....	18
3.4.1 ESP32.....	18
3.4.2 Programování EPS32	18

3.5	Komunikační zařízení	19
3.6	Baterie	19
3.7	Doplňková zařízení	20
4	Návrh rámu dronu	21
4.1	Výběr rámu	21
4.2	Prvotní návrh Hybrid True X rámu.....	21
4.3	Návrh True X rámu verze 1. se spodním zavěšením	22
4.4	Návrh částí rámu	23
4.4.1	Ramena	23
4.4.2	Top a Bot plate.....	23
4.4.3	Nohy.....	24
4.5	Návrh True X rámu verze 2. se spodním zavěšením	24
4.5.1	Elektronické komponenty	25
4.6	Rám verze 2	25
4.7	3-D tisknuté díly pro verzi 2	27
4.7.1	Ramena	27
4.7.2	Top a Bot plate.....	27
5	Tisk a Konstrukce rámu	29
5.1	Tisk rámu	29
5.2	Konstrukce rámu.....	30
6	Programování ESP32	36
6.1	Test čtení hodnot z receiveru	36
6.2	Roztočení motorů.....	38
6.3	Ovládání pohybu kolem os a gyroskop.....	39
7	Testování	43
	Závěr	46
	Literatura	48
	Seznam symbolů, veličin a zkratek	51
	Seznam obrázků	52
	Seznam tabulek	53

A	Návrh Rámu	54
A.1	3D model ramene	54
A.2	3D model Top plate	54
A.3	3D model Bot plate	55
A.4	Model nohy dronu.....	55
B	Technické výkresy	56
B.1	Výkres součásti Top plate.....	56
B.2	Výkres součásti Bot plate	57
B.3	Výkres ramene	58
B.4	Výkres modelu nohou dronu.....	59
C	Seznam použitých komponentů	60

ÚVOD

V posledních letech se markantně rozšířila technologie 3-D tisku, která pomohla mnoha lidem realizovat své nápady. Jelikož 3-D tisk je stále více a více dostupný, je možné vyrábět věci, které nebylo dříve možné zhotovit, ať už z toho důvodu, že to technologie nedovolala anebo byla výroba jednoho kusu příliš nákladná.

Počátky 3-D tisku spadají do druhé poloviny 20. století, přičemž svůj největší rozkvět zažívá až v posledních několika letech s příchodem levnějších komponentů, materiálů a komunity, která rozvíjí tuto technologii, jak po hardwareové, tak i softwareové stránce.

Teoretická část této práce se zabývá historickým vývojem dronů od počátků po současnost. Dále jsou podrobně vysvětleny důležité pojmy, které jsou důležité při návrhu dronu. 3-D tisk je popsán pouze okrajově, protože toto technologické odvětví není hlavní náplní této práce.

Následující kapitoly detailně popisují rozdělení dronů podle odvětví, ve kterých jsou používány, podle průměru nebo počtu vrtulí. Okrajově jsou popsány zajímavé letové režimy, kterými jsou moderní drony vybaveny. Dále se práce zabývá detailním popisem jednotlivých komponentů dronu, jimiž jsou motory, řídicí jednotky, elektronické ovladače rychlosti (ESC moduly), vrtule nebo baterie a odůvodnění vhodnosti výběru pro dané aplikace.

Praktická část je zaměřena na popis procesu návrhu součástí navržených v 3-D modelovacím počítačovém programu. Samotný tisk rámu dronu není probíráno do hloubky, v práci jsou uvedeny parametry tisku a odůvodnění použití těchto parametrů. V další kapitole je detailně popsán postup konstrukce dronu z vytištěných dílů, veškerá elektrická a mechanická spojení jsou doprovázena fotodokumentací.

Předposlední kapitola se věnuje postupu při programování řídicí jednotky, kterou je ESP32 ve verzi DevKit v1. Každou ukázkou programu následuje detailní a přehledný popis, jak který řádek funguje a jakou splňuje funkci ve výsledném programu.

Poslední kapitolou je testování, kde pomocí fotodokumentace jsou znázorněny ovládací funkce dronu.

Cílem práce bylo navrhnout rám dronu a sestavit funkční dron, který bude řízen pomocí vývojové desky EPS32 od firmy Espressif a bude schopen nést senzorickou kapsli o minimální hmotnosti 200 g.

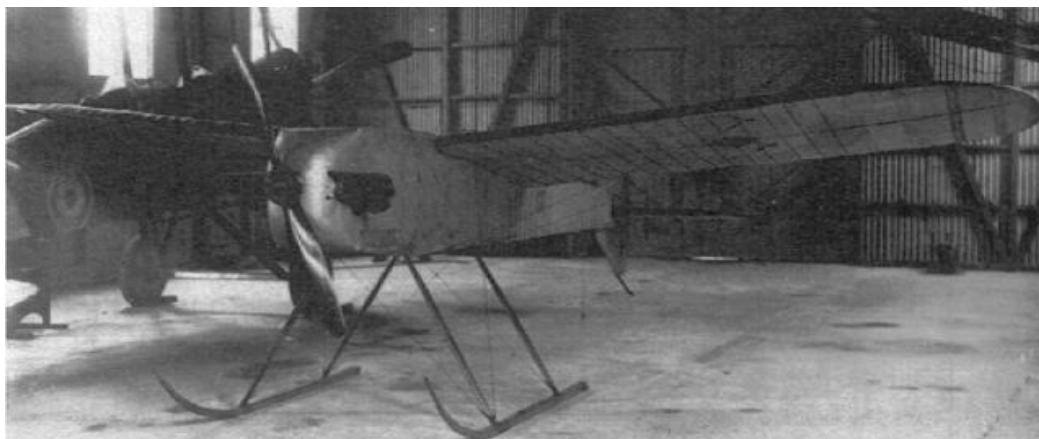
1 DRON

Dron, anglicky „drone“ nebo UAV – Unmanned Aerial Vehicle, což opět v překladu znamená „vzdušný bezpilotní prostředek“, je bezpilotní letoun, který je řízen na dálku lidským operátorem či je naprogramován tak, aby sledoval určitou letovou trasu. Dron je v podstatě letadlo nebo helikoptéra s jednou nebo více vrtulemi, která nepotřebuje k ovládání posádku na palubě. Hlavními použitími dnes jsou: doprava materiálu, natáčení, focení (ať už krajin nebo budov), tak i dohled nebo dozor, kde se například na letištích používají policejní nebo přímo letištní drony udržující letový prostor čistý, buď od ptáků nebo také od dronů nadšených lidí, kteří nemají tušení, že existují bezletové zóny jako jsou letiště, dále továrny, kde se vyrábí výbušniny, vojenské objekty, Pražský hrad nebo jaderné elektrárny Dukovany a Temelín. Vzhledem k současné pandemii byly drony využívány pro desinfekci špatně dostupných veřejných prostorů (hřiště, zastávky veřejné hromadné dopravy...).

1.1 Historie

První bezpilotní letouny, jež se vyvinuly v ty, které můžeme vidět dnes, jsou spojené s vojenstvím. Úplně prvním bezpilotním letounem byly dva horkovzdušné balóny použité v Benátkách roku 1849, kde přenášely výbušniny a byly odkázány pouze na příznivost a směr větru [1].

První řízený let dronu byl dosažen v roce 1917 Archibaldem Montgomery Lowem, jenž při práci v RFC – Royal Flying Corps (předchůdce RAF – Royal Air Force), postavil první dron s názvem Aerial Target viz obrázek 1.1. Tento letoun byl navržen jako naváděná střela. Pro své temperamentní chování však nebyl nikdy nasazen do boje. Pro bojové účely byl bezpilotní letoun použit až ve druhé světové válce. [2][3].



Obrázek 1.1 Aerial Target [3]

Další vývoj bezpilotních letounů proběhl opět ve vojenském prostředí, kde za první světové války vynálezci Hewitt a Sperry navrhli a postavili bezpilotní letoun, do kterého přidali průlomová zařízení v leteckém průmyslu, jako je gyroskop, který slouží ke stabilizaci letu. Tento letoun byl však automatizovaný, protože se neovládal přímo, ale měl nastavený kurs a vzdálenost, kterou měl uletět, poté přešel do střemhlavého letu. Název tohoto letoun byl „Automatic Airplane“, přezdívalo se mu však „Flying Bomb“ nebo „Aerial Torpedo“,

což v překladu znamená létající bomba nebo vzdušné torpédo. V roce 1916 bylo provedeno několik úspěšných pokusů, jednalo se tedy o velké vítězství v tomto průmyslu, avšak než se stihl nasadit do boje, válka skončila roku 1918. V roce 1917 byl Hewitt-Sperryho projekt automatického letounu převezen do Ameriky, kde byl vylepšen a později nazván „Kettering Bug“. Tento letoun je považován za předchůdce dnešních řízených raket [4].

V období mezi první a druhou světovou válkou ustal aktivní zájem o vývoj bezpilotních letounů. Většina projektů byla ukončena nebo značně zpomalena, protože nikdo nečekal, že přijde druhá světová válka, avšak v rámci zbrojení a výzkumu ve vojenství se zájem o bezpilotní letouny udržel v mysli lidí i nadále. V roce 1925 začala práce na Larynx pod záštitou RAE, kde Larynx znamená „Long Range Gun with Lynx engine“ (zbraň dlouhého doletu s motorem Lynx) a RAE je Royal Aircraft Establishment. Tento letoun byl protilodní rádiem řízené letadlo. První test tohoto letounu proběhl 20. července roku 1927, kde toto letadlo bylo vystřeleno z praku na lodi HMS Stronghold britského námořnictva [5].

Použití bezpilotní stroje byly využívány také při výcviku vojáků. Například stíhací letci si mohli ve vzduchu cvičit své dovednosti, nebo zase naopak osádky protivzdušné obrany mohly střílet na cíle, kde nebude ohrožen lidský život. Před příchodem bezpilotních letadel se cvičilo na tažených letadlech v závěsu, což mnohdy vyústilo ve zranění osádek tažného letadla. Do této doby se dá hovořit o bezpilotních strojích spíše jako o dálkově ovládaných raketách, protože se jednalo pouze o letadla naplněná výbušninou. To se změnilo s příchodem prvního sériově vyráběného bezpilotního vzdušného cíle v třicátých letech 20. století, (AT – Aerial Target), kterým se stal Havilland DH-82B Queen Bee. Tento letoun bylo možno opětovně použít, pokud nebyl zničen [6]. Jelikož se jednalo o první letoun, který nebyl vyroben jako zbraň, přisuzuje se mu první označení „The Drone“, dle označení, které se začalo objevovat v dokumentech tohoto amerického projektu, na které kývnul sám plukovník-velitel Delmar Fahrney [6].



Obrázek 1.2 Letoun Queen Bee [6]

Po druhé světové válce se modernizované drony stále více používají. V roce 1951 začala firma Ryan Aeronautical Company (později Teledyne Ryan) vyrábět sériově dron s názvem Firebee. Sestrojeno bylo přes 7000 kusů a stal se jedním z nejúspěšnějších dronů v historii.

Tyto drony byly vytvořeny za účelem tréninku pilotů a osádek protivzdušné obrany, ale později byly přestavěny tak, aby nejlépe zvládaly průzkumné akce. Drony z této éry byly využívány ve válce ve Vietnamu a za studené války. Šlo o špionážní drony, které měly za úkol pomocí videa nebo fotek sbírat informace o vojenských silách, pozicích nepřítele a mnoho dalšího [7].

V moderní době je využití dronů nejširší, jelikož s příchodem moderních technologií a otevření dveří k těmto technologiím široké veřejnosti si může každý doma vyrobit dron vlastní. Pokud se v 21. století někde objeví nebo je zmíněn dron, s velkou pravděpodobností se bude jednat o MQ-1B Predator a MQ-9 Reaper od americké firmy General Atomics Aeronautical Systems Inc., nebo RQ4-Global Hawk od americké firmy Northrop Grumman, které jsou hojně využívány americkou armádou [8][9][10].



Obrázek 1.3 MQ-1B Predator [8]



Obrázek 1.4 MQ-Reaper [9]



Obrázek 1.5 RQ-4 Global Hawk [10]

Výše zmíněné jsou pouze bojové drony, přičemž mohou nést i výzbroj (kromě Global Hawk, který je pouze průzkumný), fungují jako průzkumníci terénu na bojištích nebo jako podpora pozemních jednotek. Po událostech 11. září Pentagon schvaluje bojové nasazení, krátce poté v únoru 2002 je zabit první člověk bojovým dronem [11]. Existuje však i velké množství malých dronů, které mohou pomáhat přímo jednotlivým bojovým jednotkám na zemi, kde si je příslušní vojáci rozloží a používají je například na průzkum budov nebo nejbližšího okolí, a tím získávají cennou bojovou převahu. Drony pro komerční užití nebo přímo pro civilní aplikace se na trhu objevily teprve nedávno.

Po roce 2002 přichází zvrat v roce 2006, kdy Americký Federální úřad pro letectví (FAA – Federal Aviation Administration) začíná udělovat první komerční licence. Do této doby byly drony pouze pro vládní použití, což znamená, že drony byly používány pouze pro monitorování hranic, kontroly při katastrofách atd. Po startu udělování licencí se drony dostaly do filmového průmyslu a soukromých společností. Do domovů civilního obyvatelstva drony přichází až v roce 2013 po velkém oznámení Jeffa Bezose, výkonného ředitele (CEO) amerického obchodního portálu Amazon.com. Tato firma se rozhodla rozjet kampaň rozvážení balíčků pomocí dronů. Tím narostl obrovský zájem o drony a Federálnímu úřadu stoupily žádosti o licence z tisíce na statisíce. V lednu roku 2018 byla překonána hranice 1 000 000 žádostí o licenci, z čehož 878 000 žádostí přišlo od modelářů a 122 000 od firem pro komerční použití. Ovšem tato čísla poukazují pouze na registrované uživatele. FAA využívá kontakty na registrované uživatele k učení pilotů nebo rozesílání důležitých zpráv z hlediska bezpečnosti [12].

1.2 Rozdělení

Tato kapitola se zaměřuje na rozdělení dronů dle použití a následně na rozdělení dle počtu motorů. Obě tyto kategorie jsou velmi důležité při výběru dronu nebo při jeho stavbě. Nejdůležitějším faktorem ze všech jsou zkušenosti obsluhy/pilota, protože dron může být hračkou, ale i smrtícím strojem, a to nejen u velkých armádních bojových dronů. Padající dron z velké výšky letící velkou rychlostí může při střáze s člověkem nebo se zvířetem vážně zranit nebo dokonce i usmrtit.

Máme tři skupiny pilotů dronu. Úplní začátečníci by měli přemýšlet nad koupí malého a většinou i levného dronu, na kterém se naučí ovládat dron. Tyto drony jsou většinou konstruovány pro let v interiérech.

Druhou skupinou jsou středně pokročilí uživatelé. Ti by si měli pořídit komerční variantu dronu, neboť nabízejí několik různých letových režimů, a zároveň i ochrany při letu v exteriéru, jako je GPS navádění, návrat dronu na vzletovou pozici, při ztrátě signálu z ovladače atd. a v neposlední řadě jsou také vybaveny různými modifikacemi týkajícími se použití, tzn. závodění, natáčení, focení atd.

Třetí skupinu tvoří pokročilí uživatelé. Do této kategorie spadají všichni, kteří si chtějí vyrobit vlastní dron z dílů. Pro tuto skupinu je nezbytná důkladná příprava pilota. Ovšem tito piloti jsou následně odměněni dronem „na míru“, který bude mít přesně definované funkce pro určité použití, nebude mít nadbytečné funkce a jelikož pilot bude mít dost zkušeností, bude schopen si dron například rozebrat, opravit atd.

1.2.1 Dle použití

Drony se dnes v civilním sektoru pořizují především pro zábavu, jako je focení, natáčení videí nebo závodění. Jsou však také drony, které mají více vědecké zaměření, například hašení požárů, sběr vzorků, dovoz materiálu atd.

Primárním rozdělení dronů:

- Univerzální
- Závodní
- S kamerou nebo fotoaparátem
- Pro rozvoz nákladu

Univerzální drony mají výhodu v tom, že zvládnou prakticky vše s určitými omezeními, mohou nést kameru, létat rychle a jsou dobře ovladatelné jako závodní drony. Mohou obsahovat GPS pro nalezení dronu, při pádu nebo při ztrátě kontury nad dronem se provede příkaz navracení na výchozí pozici.

Závodní drony jsou rychlé, mrštné a velmi dobře ovladatelné. Je zde však určité omezení, které se týká velikosti vrtulí a s tím spojené velikosti dronu a i hmotností. Tento druh dronu má také dobře řešené umístění centra gravitace, což má velmi pozitivní dopad na ovladatelnost, stabilitu, zotavení se z prudkého zatáčení atd.

Drony s kamerou nebo fotoaparátem se liší dle dalšího použití, například FPV drony (First Person View – pohled z první osoby) mají vpředu kameru, ze které se obraz přenáší pilotovi do brýlí a pilot má pohled přímo z dronu. Tyto drony se stále klasifikují jako závodní. Drony se závěsnou kamerou nebo gimbaelem, což je stabilizátor pro kamery, bývají větší a mívají centrum gravitace pod dronem z důvodů ovládání kamery. Tento typ bezpilotního stroje mívá dobře řešenou stabilizaci – vznášející mód (hover mode), kdy se dron udržuje na jednom místě a snaží se nehýbat, například při zachycení panoramatu krajiny nebo pro filmové natáčení.

S rozvozem nákladu přišel v roce 2013 Jeff Bezos, ředitel Amazon.com. Cílem bylo ze skladu Amazonu rozvážet zásilky zákazníkům, a tím uvolnit místo na silnicích. Koncept sám o sobě je velmi dobrou myšlenkou, avšak legislativa nedovoluje této myšlence vzkvést, protože jedno z pravidel při pilotování dronu je, že pilot nesmí ztratit dron z dohledu, proto celý koncept v tomto případě ztrácí smysl [13][14]. Výjimku z tohoto pravidla však představuje armáda nebo záchranné složky.

1.2.2 Podle velikosti vrtulí

Od velikostí (lépe řečeno průměru) vrtulí se odvíjí velikost samotného dronu. Velikosti vrtulí se udávají v imperiálních palcích, přepočty na milimetry jsou zbytečné. Drony se nazývají například 4“ dron. Proto v následujícím textu číslo neznamená velikost celého dronu, ale jen jeho vrtulí. Třídy dle velikosti vrtulí jsou:

- 2“ třída
- 3“-4“ třída
- 5“ třída
- 6“ třída
- 7“+ třída

Do 2“ třídy dronů patří nejmenší drony, kde průměr jedné vrtule je přibližně 5 cm, používající se v interiérech. Tyto bezpilotní letouny jsou navrženy pro naprosté začátečníky, pilot se na nich naučí základní ovládání a pozná, jak se dron chová.

Třída s drony, jejichž vrtule mají průměr 3“ – 4“ (7,6 - 10,1 cm) jsou drony závodní, akrobatické nebo FPV drony, s nimi již pilot může létat v exteriéru, protože již dokáží překonat poryvy větru.

Pětipalcové vrtule se umísťují na drony, které jsou přímo určeny pro závodění. Je fakt, že poměr výkon/manévrovatelnost a schopnost nést HD (High Definition – vysoké rozlišení) kameru jsou velmi dobré vlastnosti pro závodění.

Pro natáčení, focení nebo pro delší přelety jsou skvělou volbou šestipalcové vrtule. Třída 6“ vrtulí poskytuje dronu dostatek vztlaku a výkonu pro dlouhou letovou dobu nad scénériemi.

Sedmpalcové a větší vrtule jsou většinou použity pro drony, které mají velkou letovou dobu, a dokáží již nést více než jen kameru. Může se na ně upevnit stabilizační systém gimbal, GPS, ať už pro spolehlivý návrat na výchozí pozici, pro sledování trasy přeletu či pro udržování pozice v hower módu, nebo nějaký náklad.

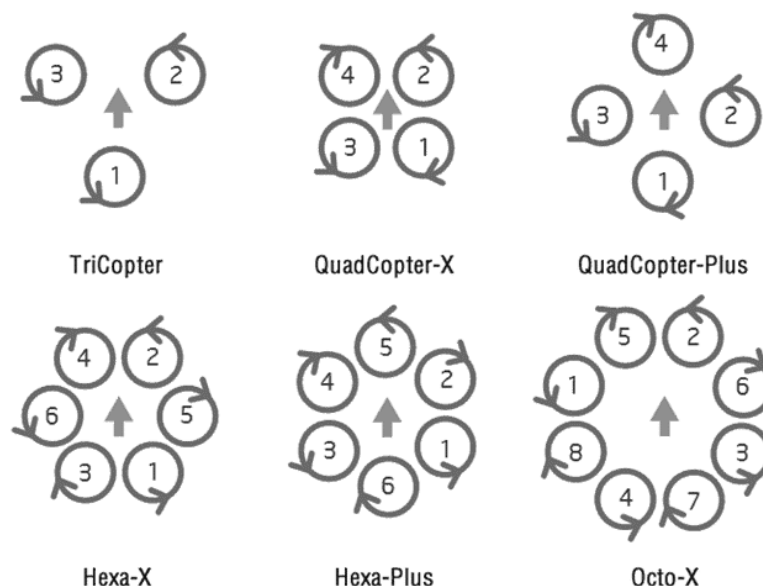
1.2.3 Podle počtu vrtulí

Počet vrtulí u dronu je velmi důležitý faktor, jelikož čím více vrtulí dron má, tím více je stabilní, unese větší náklady, při výpadku motoru (například u oktokoptéry) je schopen bezpečně přistát. Na druhou stranu však potřebuje větší nebo více baterií, je těžší a elektronika musí zvládnout velké proudy atd. Drony se zatím dělí pouze do čtyř skupin viz obrázek 1.6:

- Trikoptéry
- Kvadrokoptéry
- Hexakoptéry
- Oktokoptéry

Již z názvů jednotlivých skupin je zřejmé, kolik vrtulí drony vlastní. Trikoptéra, dle předpony „tri“, má tři vrtule a tvar rámu do písmene Y. Tyto drony nejsou velmi rozšířené a populární, protože nejsou dost odolné proti poryvům větru, jsou však velmi obratné, ale vysoké obratnosti lze dosáhnout i s malou například 3“ kvadkoptérou.

-



Obrázek 1.6 Orientace rotací vrtulí multikoptér [15]

Kvadkoptéry (z angličtiny quadcopter) jsou nejrozšířenější skupinou dronů, mají čtyři identické vrtule (v průměru). Toto rozložení je nejlepší pro univerzální použití z toho důvodu, že nabízí skvělý kompromis mezi rychlostí a ovladatelností, zároveň kvadkoptéry s většími vrtulemi dokážou nést kamery pro nahrávání nebo přímému ovládání dronu – FPV drony.

Hexakoptéry jsou drony s šesti vrtulemi. S přibývajícím počtem vrtulí se zvyšuje stabilita dronu, Tento typ dronu s gimbalem je skvělým strojem pro natáčení nebo fotografování. Zároveň však jsou tyto drony velmi dobré pro rozvážení materiálu.

Oktokoptéry, tedy drony s osmi vrtulemi jsou nejstabilnější, odolnost těchto dronu proti větru je značná, dokážou nést větší břemena, protože mají největší tahy motorů. Vyžadují však velkou zručnost při výrobě, pokud jde o bastlíře, neboť nutností u těchto dronů jsou velkokapacitní baterie. Dále pak počet motorů má velké nároky na řídicí elektroniku. Na druhou stranu, pokud dojde k výpadku motoru ve vzduchu, tak je velká pravděpodobnost, že se s dronem podaří bezpečně přistát [16].

1.3 Parametry dronů

Parametry dronů jsou určovány z aplikace, na kterou bude dron použit. Nejdůležitějšími parametry jsou [17]:

- Počet vrtulí
- Velikost vrtulí
- Rychlost
- Dolet
- Dostup
- Materiály
- Hmotnost
- Dosah ovládání
- Cena

Počty a velikosti vrtulí v této kapitole nebudou dále rozebírány, neboť jsou zmíněny a podrobně popsány již v předchozích kapitole.

Na rychlosti záleží spíše u závodních nebo akrobatických dronů. Rychlost dronu je dána parametry motorů, ale hlavně hmotností samotného dronu.

Dolet ovlivňuje opět hmotnost dronu a velikost jeho baterie, tento parametr je velmi důležitý pro větší drony, například pro natáčení.

Dostup dronu sice také závisí na použitých motorech, ale hlavně na otáčkách motoru, protože ve vyšších atmosférických výškách je řidší vzduch, takže dron bude muset velmi rychle otáčet vrtulemi, aby se udržel ve vzduchu.

Použité materiály markantně určují vlastnosti dronu. Při použití pevných materiálů jako je dural nebo hliník je dron velmi pevný, ale zase těžký, na druhou stranu při použití plastů je dron lehký, ale pád nebo nesprávné zacházení může vyústit v poškození nebo dokonce ke zničení dronu. Skvělým kompromisem mezi odolností a hmotností je karbonové vlákno. Tento materiál je však v porovnání s plastem nebo durallem velmi drahý.

Největší vliv na dron má hmotnost. Pokud je dron nabitý technologiemi, kamerami a ještě nákladem, je zapotřebí použití lepších materiálů na rám dronu, více motorů a více baterií atd.

Ve většině případů při rozhodování o komponentech použitých na dron rozhoduje cena, protože silnější motory a použití lepších materiálů na rám dronu se velmi znatelně promítne v ceně.

1.4 Letové režimy

Letové režimy, jinak nazývané módy, jsou automatizované systémy, které ovládají dron. Jsou to předprogramované funkce, které usnadňují pilotovi práci. Pro většinu těchto režimů musí dron mít čidla vzdálenosti, protože pokud hlavní kamera dronu sleduje cíl, tak se může stát, že dron narazí slepým bodem do překážky. Letovými funkcemi mohou například být:

- Aktivní sledování
- Sledování trasy a terénu
- Režim stativu

V módu aktivního sledování, dron sleduje pohybující se cíl. Tento režim může v pokročilejší verzi systému následovat předmět, který je označen ve vizualizovaném rozhraní nebo v jednodušší verzi dron sleduje pohyb ovladače.

Režim místa zájmu uvede dron v rotaci kolem zvoleného cíle, například kdy dron krouží kolem rozhledny, přičemž kamera stále sleduje cíl. Drony s tímto módem musí mít již zmíněná čidla z důvodu bezpečnosti.

Při sledování trasy je dronu nastavena dráha, kterou dron proletí. Při sledování terénu se nastaví pevná hodnota vzdálenosti od země a dron letí jedním směrem nebo po trase, kterou zadá obsluha.

Režim stativu je speciálně navržen tak, aby při natáčení se do videa nepromítaly vibrace nebo prudké pohyby dronu. Toho se docílí snížením rychlosti letu a otáčení dronu. Tento mód se dá kombinovat s již zmíněnými režimy a z kvalitní videozáznam [17].

1.5 Komponenty dronu

Dnes si dron může koupit prakticky kdokoli, protože na trhu je již několik desítek typů, jak pro úplně začátečníky nebo pro pokročilé profesionální kameramany. Vzhledem k zadání této práce budou v této kapitole popsány nejdůležitější komponenty dronu, které jsou nezbytné pro správnou funkci:

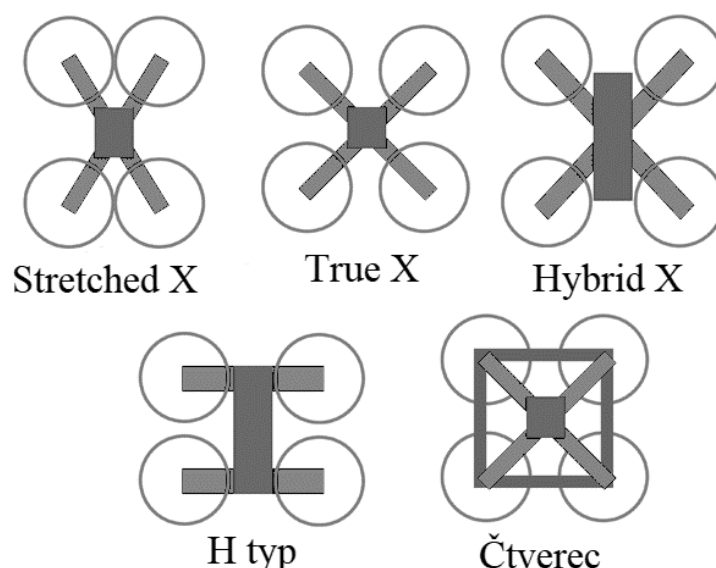
- Rám
- Motory
- Vrtule
- ESC - Electronic Speed Controller
- FC – Flight Controller
- Komunikační zařízení
- Baterie
- Kamera
- Doplnky

Při stavbě dronu je nutné si zodpovědět otázku: k čemu bude dron sloužit a jak velký je rozpočet. Pro tuto práci byl zvolen dron se čtyřmi vrtulemi tzv. kvadkoptéra. Je nutné dodat, že při stavbě trikopty nebo oktokoptéry nebudou v procesu výběru komponentů velké změny, pouze se nakoupí více motorů, popřípadě ESC modulů.

1.5.1 Rám

Výběr rámu nebo jeho návrh se odvíjí od počtu motorů, nepoužívanější dron dnešní doby je kvadkoptéra, takže nepoužívanější kvadkoptér jsou viz obrázek 1.7:

- Stretched X
- True X
- Hybrid X
- H typ
- Čtverec



Obrázek 1.7 Typy rámců kvadkoptéry

Každý typ rámu má určité výhody a nevýhody, například Stretched X a True X jsou velmi dobře vybalancované kvadkoptéry, ale při pádu dronu je obrovská šance, že se rameno ulomí, zato čtverec má velmi pevnou konstrukci díky mechanickým propojením jednotlivých ramen, na druhou stranu je těžší.

1.5.2 Motory

Motory mají jisté parametry, které je potřeba zohlednit při výběru:

- Uhlíkové/Bezkartáčové
- Rozměry motoru
- KV hodnocení
- Tah
- Odběr proudu

Prvním důležitým faktorem se stává typ motorů, který bude použit. Jsou dva typy motorů: uhlíkové (brushed motor) a bezkartáčové (brushless motor).

Uhlíkový motor funguje na principu otáčení rotoru, který je upnutý do statoru. Stator vytváří schránku, ve které jsou magnety. Díky průchodu proudu cívkami v rotoru se kolem statoru vytvoří magnetické pole, které se snaží vyrovnat s magnetickým polem statorových magnetů (nebo magnetického pole cívek, které jsou ve statoru), tím dochází k rotaci rotoru. Uhlíky jsou připevněny ke statoru a přes kontakt na komutátoru dochází přesunu elektrické energie do rotoru.

Je pravdou, že bezkartáčové motory vydrží delší dobu, protože v nich nejsou uhlíky, které vytvářejí dotykový přenos energie, jsou však dražší než uhlíkové, proto se bezkartáčové používají ve větších dronech, například od třídy 3" nahoru. Uhlíkové motory se dají velmi dobře použít v mikro dronech, ve třídě 2", protože jejich cena je nízká a není to taková tragédie, když se takto malému dronu spálí motor [18].

Při udávání poměru tahu ku váze, je nutné se řídit nepsaným pravidlem, že je přibližně 2:1. Jinými slovy dron se musí udržet ve vzduchu při 50 % výkonu. Samozřejmě čím více tahu ku váze bude dron mít, tím lépe. Dron bude hbitější a rychlejší, zároveň taky unese těžší břemena.

Pro fotografování nebo v případě dronu sestaveného na základě této práce – pro nesení kapsle, kde hmotnost zavěšeného nákladu je minimálně 250 g, by tento poměr měl být například 4:1 a více, z čehož vyplývá, že pro jednokilový dron je zapotřebí, aby motory měly dohromady tak přibližně 4 kg tj. 1 kg na motor [18].

Rozměry motorů jsou označovány na bezkartáčových motorech čtyřčíselným kódem, například 2207, první dvě číslice udávají průměr motoru a ze zbylých dvou lze vyčíst výšku rotoru v milimetrech. V našem uvedeném případě průměr motoru je tedy 22 mm a výška 7 mm. Vyšší stator má za následek vyšší rychlost otáček a nižší stabilitu při nízkých otáčkách, širší stator je zase na otáčky pomalejší, ale je stabilnější při nízkých otáčkách [18].

Hodnota KV je konstanta rychlosti, tedy počet otáček motoru při zvýšení napětí o jeden volt. Tato hodnota je teoretická a určuje se bez zatíženého motoru, tedy bez vrtule. Otáčky rpm (revolutions per minute – otáčky za minutu) se snižují postupně s odporem vzduchu. Vyšší KV znamená nižší odpor, vyšší odběr proudu a nižší efektivitu, nižší KV má vyšší odpor, nižší odběr proudu a vyšší efektivitu [18].

Dalším faktorem je tah (anglicky torque), ten je ovlivněn velikostí statoru, jak výškou, tak šířkou, přičemž větší stator znamená vyšší tah. Vyšší tah značně ovlivňuje dron, s vyšším tahem dron mnohem lépe odpovídá na vstupní signál, což znamená, že je lépe ovladatelný a rychleji dokáže měnit směr. Velkou nevýhodou vysokých tahů motorů jsou oscilace, kterých se špatně zbavuje i s dobrou PID regulací (Proporciálně Integračně Derivační). Tyto oscilace mají za následek vybočování osy motorů [18].

Odběr proudu je dán výrobcem, jedná se o nominální hodnotu proudu, kterou si motor vezme ze zdroje (baterie). Na tomto faktoru závisí výběr velikosti jednotky ESC (Electronic Speed Controller). Příkladem odběru proudu pro motor 2306 budeme mít odběr 40 A při 100 % výkonu, ESC musí být voleno tak, aby maximální proud motorem byl přesažen o 20 %, tedy pro tento motor 2306 bude dobré zvolit ESC s maximálním proudem 48 A [18].

CW a CCW (CW neboli clockwise – podle směru hodinových ručiček, CCW značí counter clockwise – proti směru hodinových ručiček) jsou zkratky pro směr otáčení rotoru u motorů, proti nebo po směru hodinových ručiček. Na obrázku 1.6 jsou směry otáčení motorů znázorněny šipkami v kroužcích [18].

1.5.3 Vrtule

Existuje několik druhů vrtulí, od dvoučepelových až po šestičepelové. Každý typ má určité vlastnosti určující rychlost otáčení motoru, odběr proudu, váhu dronu jeho a ovladatelnost.

Nejpoužívanějším typem je vrtule se třemi čepelí. Vrtule jsou označovány stylem AxBxC, tedy pro vrtuli s označením 5x4x3 se jedná o vrtuli o průměru 5“, čtyřiceti stupňovým úhlem sklonu čepelí a poslední číslo udává počet čepelí, tedy 3. Dalším označením může být 5040 triblade, jedná se o stejnou vrtuli jako v příkladu uvedeném výše.

S větším úhlem sklonu čepelí vrtule se zvyšují i nároky na odběr proudu motorů, avšak současně se zvyšují i rychlosti proudění vzduchu a s tím spojená rychlost dronu [18].

1.5.4 ESC – Electronic Speed Controller

ESC (v překladu elektronický rychlostí ovladač) je nezbytnou součástí dronu, z toho důvodu, že dodává motorům potřebnou energii. Tyto komponenty jsou řízené pomocí FC – flight controllerů, které jim dají instrukci a ESC na základě toho korigují a ovládají motory. Pro každý motor je potřeba jeden modul ESC. Avšak dnes se již vyrábějí moduly, které na jedné desce plošných spojů mají čtyři ESC. Výhodou je menší velikost a mnohdy i váha ESC. V neposlední řadě může být i balancování dronu značně usnadněno [18].

1.5.5 FC – Flight Controller

Také jinak nazývaný mozkem dronu. Jedná se o hlavní výpočetní jednotku zpracovávající instrukce od obsluhy. Řídí všechny ostatní periferie dronu například ESC, GPS, gyroskop, kamera atd.

V dnešní době jsou letové počítače kompatibilní s určitými programy pro nastavení dronu, mají integrovaný gyroskop a občas i GPS modul.

Další funkcí je implementované rozhraní OSD (On Screen Display – zobrazení na obrazovce), které odesílá důležité informace obsluze na zemi, jako je rychlost, napětí na baterii, proud odebíraný z baterie a další [18].

1.5.6 Komunikační zařízení

Dron potřebuje komunikovat s ovladačem. Nejpoužívanější komunikační zařízení jsou rádiové vlny. Dron je možné ovládat pomocí Bluetooth, Wi-Fi nebo datového připojení. Z hlediska jednoduchosti se tento text zaměřuje na rádiový přenos informací.

V České republice jsou povolena určitá pásma radiového přenosu informací, těmi jsou: 27 MHz, 35 MHz a 40 MHz. Frekvence 35 MHz je vyhrazena pro vzdušný provoz, tj. letadla, drony atd., na těchto frekvencích je však nutné dbát na nastavení kanálů, protože může dojít k ovlivňování jiných zařízení pracujících na stejné frekvenci. Další a nejpoužívanější frekvencí je 2,4 GHz, na které se dnes již vyrábí mnoho komunikačních zařízení [19].

Funkce, které ovládají pohyb dronu, jako jsou příčný náklon, podélný sklon, zatáčení a další, jsou odesílány na jednotlivých kanálech, proto je nutné mít minimálně 4 kanály.

1.5.7 Baterie

Zdroj energie je nedílnou součástí dronu. Největším zastupitelem akumulátorů používaných u dronů jsou Lithium-Polymerové baterie (zkráceně Li-Pol nebo LiPo baterie). Hlavním parametrem baterií je kapacita a váha. Existují však i jiné články pro pohon RC (radio controlled) strojů, těmi jsou: NiCd, NiMH, již zmíněné LiPo a Li-Ion, LiHV a LiFe [20].

Kapacita baterie ovlivňuje délku letu dronu, ale také váhu baterie, protože čím větší má akumulátor kapacitu, tím jsou jeho geometrické rozměry větší a s nimi spojená váha.

Při výběru baterie je důležité si uvědomit, na jaký styl letu je dron konstruován. Pokud se jedná o závodní dron, je lepší mít menší kapacitu baterie, ale více článků. Na druhou stranu při nesení nákladu je potřeba mít velkou kapacitu baterie.

Počet článků baterie udává její napětí a kapacitu. Pokud spojíme dva stejné články sériově, zvýší se napětí a pokud paralelně, tak se zvýší kapacita. Baterie mají označení dle počtu článků, které se zapojují sériově (označují se velkým písmenem S), tím se zvyšuje jejich napětí, jelikož napětí jednoho článku je 3,7 V, tak baterie 2S bude mít dva tyto články zapojené sériově, tedy $3,7 + 3,7$ je 7,4 V, pro 3S baterii bude napětí 11,1 V atd.

Dále se baterie označují číslem C, například 20C, toto číslo určuje počet proudu, který je baterie schopná vydat, aniž by se zahřívala nebo poškodila. Pro výpočet proudu je nutné taky znát kapacitu baterie, například pro baterii 2S, 5000 mAh a 20C, bude výsledný proud této baterie násobek kapacity v Ah a čísla C, tedy $5 \times 20 = 100$ A. Tato baterie je schopná při 7,4 V dodávat do obvodu proud o velikosti 100 A. Toto číslo se může zdát jako hodně velké, berme ale v potaz, že každý motor může odebírat i 40 A, tedy 40×4 je 160 A [20].

1.6 Právní předpisy v ČR

V České republice má na starost leteckou legislativu Úřad pro civilní letectví. V leteckém předpisu L2 určuje pravidla provozu bezpilotních letounů doplněk X.

Drony se v první řadě dělí podle hmotnosti na 4 třídy. Drony s hmotností $\leq 0,91$ kg, $0,91\text{ kg} < 7$ kg, $7\text{--}20$ kg a > 20 kg.

První tři třídy nepotřebují evidenci letounu, evidenci pilota, testy pilota ani povolení k létání, to platí pro rekreační nebo sportovní drony. Pro komerční, experimentální nebo výzkumné drony, včetně dromů s hmotností převyšující 20 kg, jsou již potřeba evidence dronu i pilota (včetně složení zkoušek pilotem).

Pro drony, které mají hmotnost vyšší, než je 0,91 kg, je již zapotřebí, aby dron měl funkci bezpečného přistání nebo automatického návratu na místo vzletu při ztrátě signálu z ovladače.

Při vzletu nebo přistávání se dron nesmí dostat do blízkosti osob na méně než 50 m (kromě pilota). Toto platí pro větší drony, například dron o velikosti rámu 10 cm nebude vzlétat/přistávat ve vzdálenosti 50 m od osob.

V ČR stejně tak jako v jiných státech světa jsou určitá místa, kde drony nesmí létat, nemají-li povolení. Taková místa se nazývají „zakázané zóny“, kterými jsou například vojenské zástavby, továrny s výrobou výbušnin nebo jaderné elektrárny.

Letiště jsou rozdělená na řízená a neřízená. Neřízená letiště jsou většinou travnaté dráhy, kolem kterých je zóna kružnice o poloměru 5 km. V této zóně lze létat do 100 m s dronem do 0,91 kg bez schválení a do 300 m i s těžšími stroji po předchozím schválení provozovatelem.

Řízená letiště jsou civilní a vojenská, kolem nichž je kružnice o průměru 5,5 km. V menší vzdálenosti lze létat s dronem o hmotnosti do 0,91 kg do výšky maximálně 100 m s povolením Řízení letového provozu – ŘLP. Jelikož je možné létat v zóně letišť, je lepší nelétat v ochranných zónách, kterými jsou vzletové a přistávací dráhy.

Létání kolem památek je zakázáno bez předchozího písemného souhlasu.

Dron nesmí letět mimo dohled pilota. To je možné pouze v případě, že jiná osoba má fyzický dohled nad dronem v slepém bodě pilota.

Z dronů je zakázáno shazovat jakékoliv předměty.

Sankce při nedodržení pravidel jsou až 5 000 000 Kč [14].

2 3-D TISK

3-D tisk je aditivní metoda výroby třírozměrných objektů z digitálního souboru. Zjednodušeně řečeno se jedná o 2-D tisk, při kterém se natiskne obrazec, na který se dále tiskne další obrazec. 3-D tisk je opakem obráběcí metody výroby, kdy se z většího základu odebírá materiál do té doby, dokud není požadovaný tvar zhotoven.

Moderní tiskárny se dělí na 4 typy:

- FDM
- SLA
- SLS
- DMLS

2.1 FDM

FDM je zkratka pro anglický název Fusion Deposition Modeling. Tento název však registrovala společnost Stratasys a proto ji nelze komerčně využívat. Z tohoto důvodu ji nahrazuje zkratka FFF, tedy Fused Filament Fabrication. Tento typ 3-D tiskárny funguje tak, že se tryska, ze které je vytlačován rozpuštěný plast, pohybuje v ose X, Y a výšku určuje osa Z.

Materiály pro 3-D tisk bývají většinou plasty, které označujeme jako filament. Jedná se o plasty, jako je PLA, ABS, PETG, HIPS a další. Pokud jsou k nosiči (plastu) přidány další materiály, může se jednat o například „dřevěný“ filament, filament s uhlíkovými vlákny atd. Filamenty mají formu struny o průměru 1,75 mm nebo 3 mm. [21]. Hlavním principem těchto tiskáren je „nařezání“ modelu na vrstvy, které jsou jednotlivě tisknuty na sebe.

2.2 SLA

Stereolitografie, odkud pochází zkratka SLA, je druh tisku, kde je používán tekutý polymer. Tiskárna se skládá z misky, která má průsvitné dno, do které je umístěn polymer, do této misky se ponoří stavební plošina, kdy mezera mezi dnem misky a platformou udává výšku vrstvy, laser poté vytvrdí polymer na stavební platformě a ta se poté vysune z misky o určitou výšku, kterou je výška další vrstvy. Takto se proces opakuje stále dokola, dokud není tisk zcela hotov.

Modely vytvořené na SLA tiskárně jsou mnohem přesnější, než je to u FDM/FFF tiskáren. Náplně jsou ovšem dražší a jsou také toxické, proto musí mít SLA tiskárny kryty a při práci s náplněmi důležité ochranné pomůcky (rukavice, brýle atd.). Modely musí také po tisku projít potiskovou úpravou, tedy omytím v izopropylalkoholu a poté vytvrzením pod UV světlem [22].

2.3 SLS

Selective Laser Sintering je technologie vytvrzování stavebního materiálu ve formě prášku. Na stavební plochu se nanese prášek materiálu o výšce odpovídající jedné vrstvě. Laser nebo lepidlo poté vytvrdí nebo spojí sypký materiál. Poté je nanesena další vrstva materiálu a materiál je opět spojen, tento proces se opakuje stále dokola, dokud není model hotov [22].

2.4 DMLS

Direct Metal Laser Sintering znamená v překladu přímé kovové slinování laserem. Jedná se o stejný princip tisku jako u SLS tiskáren, avšak s rozdílem v síle laseru. SLS tiskárny se používají v přetavení plastů, a tedy výroby modelů z plastu, kdežto DMLS, jak již název napovídá, používá mnohem silnější lasery, aby dokázaly přetavit kovy. DMLD tisk vznikl z důvodu potřeby vyrábět díly, které jsou tvarem velmi složité a nelze jich dosáhnout formou nebo lisováním [23].

3 VÝBĚR KOMPONENTŮ

Komponenty byly vybírány tak, aby splňovaly požadavky aplikace, ve které bude dron použit. Dron musí unést nejen sám sebe, ale i kapsli o hmotnosti minimálně 200 g, délce 168 mm a průměru 66 mm.

Jelikož se jedná o dron, který má nést určité závaží, kterým je kapsle se senzory, byl zvolen poměr tah-hmotnost na 4:1 nebo 3:1, pro zajištění dobré ovladatelnosti a výkonu dronu.

Tabulka 3.1 Výpis rozměrů a hmotností jednotlivých komponentů

Komponent			Rozměry					
Součást		Označení	počet [ks]	V [mm]	Š [mm]	D [mm]	Hmotnost [g]	Celková váha [g]
1	FC	ESP 32	1	8,6	28,5	52,0	9,0	9,0
2	ESC	Blheli-S 30 A	4	5,0	18,0	35,0	6,0	24,0
3	Baterie	LiPo 4 Ah 60C	1	33,0	42,0	136,0	452,0	452,0
4	Radio přijímač	Frsky XM+	1	3,5	12,0	21,5	1,6	1,6
5	GPS	GY-NEO6MV2	1	8,0	25,0	35,0	20,0	20,0
6	Gyroskop	GY-9250	1	3,5	16,0	26,4	2,0	2,0
7	Motory	LHI RS 2206	4	33,7	28,4	-	31,0	124,0
8	Vrtule	GEPRC 5040 V2	4	5,0	12,7	-	3,8	15,2
9	Rám	Rám	1	-	-	-	200,0	200,0
10	Kapsle	Kapsle se senzory	1	168	66	-	250,0	250,0
Suma Σ			19	1097,8				

3.1 Motory

Motory značky LHI RS2206 byly vybrány jako hlavní pohon dronu. Dle dostupných informací na portálu Aliexpress.com bylo zjištěno, že tyto motory mají 2450 KV, tedy 2450 otáček za minutu na jeden volt napětí přivedený na motor, v kombinaci s baterií s napětím 14,8 V, dosáhnou maximální otáčky 36 260 otáček za minutu. Tah motorů dosahuje při maximálním výkonu 1150 g, takže pokud budeme mít maximální výkon, tak v součtu všech motorů je tah roven 4 600 g. Tím se dá splnit poměr tah-hmotnost pro dron o celkové váze 1150 g.

Tyto motory mohou být osazeny buď 5“ nebo 6“ vrtulemi. Nelze zapomenout, že dva motory musí být CW (podle směru hodinových ručků) a dva CCW (proti směru hodinových ručků) [24].

3.2 Vrtule

Dle parametrů motorů, byly zvoleny vrtule GEPRC 5040 V2, jedná se o triblade, tedy vrtule s průměrem 5“, třemi listy a úhlem jednotlivých listů je 40 stupňů. Samozřejmě nelze také zapomenout, že dvě vrtule musí být CW a dvě CCW, s tím výrobce počítal a v balení již zahrnuje jak CW, tak CCW vrtule [25].

3.3 ESC

Jako ESC, tedy elektronické rychlostní ovladače, byly zvoleny FVT LITTLEBEE BLheli-S 30 A. Tyto kontroléry jsou schopné kontinuálně dodávat 30 A proudu a na krátkou dobu (10 s) až 35 A. Motory LHI RS2206 mají maximální kontinuální proudové hodnocení 40 A, nicméně takových výkonů nebude potřeba dosáhnout, protože stále bude dodržen poměr tah-hmotnost 3:1. Navíc s vyššími možnostmi na proudovou zatížitelnost ESC se zvětšuje jejich velikost a hmotnost, například se 40 A ESC moduly se hmotnost zvedne ze 6 g na 43 g, což znamená více než 7 krát na jeden modul, váhu musíme započítat 4 krát pro každý motor zvlášť [26].

3.4 FC

Hlavní letovou jednotkou pro tento dron bude ESP 32 ve verzi development board, tedy vývojářské desky. ESP 32 bude mít připojené dva vstupní moduly, těmi jsou GPS modul a gyroskop. Výstupními moduly jsou čtyři desky ESC a ovládání kapsle se senzory. V neposlední řadě je tu vstupně výstupní zařízení a tím je radiový přijímač [27].

3.4.1 ESP32

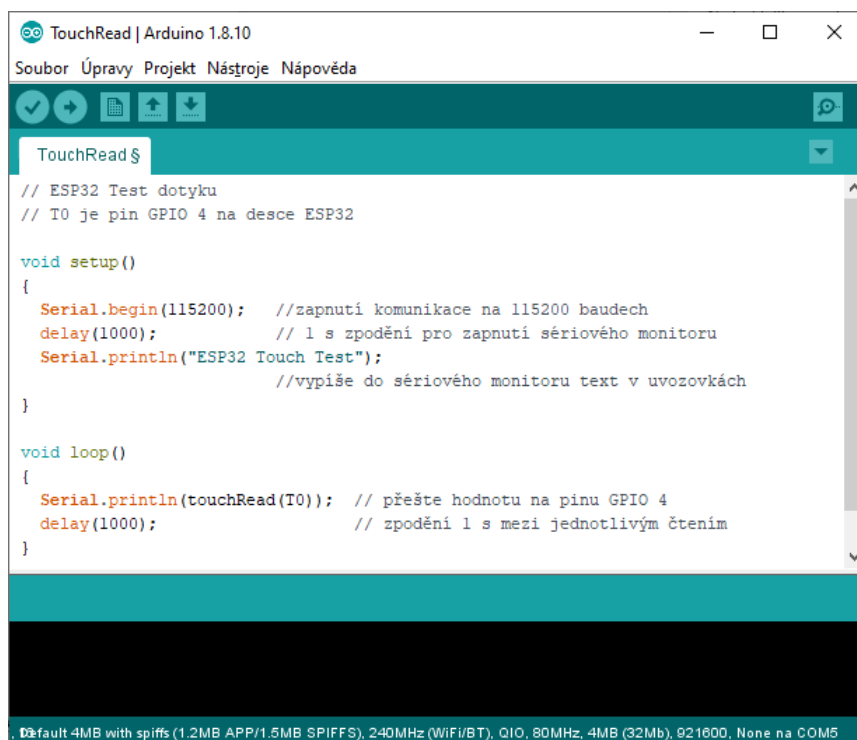
Tato vývojová deska vznikla při snaze vylepšit nedostatky předchozího modelu, tím byla deska ESP8266. Oproti předchůdci poskytuje deska vyšší výkon a mnoho nových funkcí. Co se týče výkonu, deska poskytuje novější verzi WiFi, tou je HT40, frekvence procesoru se zvýšila z 80 Mhz na 160 MHz, velikost SRAM je 512 kB oproti 160 kB ve verzi ESP8266, přibyly 2 SPI komunikační porty, jeden I2C a ADC převodník byl vylepšen z 10-bitového na 12-bitový. Mezi nové funkce přibyl Bluetooth verze 4.2 s možností BLE (Bluetooth Low Energy, tedy Bluetooth s nízkou spotřebou energie), k 17 GPIO pinům přibylo 19 pinů na celkový počet 36, k osmi kanálům PWM přibylo dalších 8, tedy na 16 a k tomu jeden hardwarový. Dalšími funkcemi je dotykový senzor a teplotní senzor. Jediným možným problémem je 3,3V logika ESP32, protože se musí dbát zvýšené opatrnosti při připojování periférií s 5V logikou, jelikož napětí vyšší než 3,3 V zničí čip ESP32.

3.4.2 Programování EPS32

Programování desky ESP32 se bude provádět v programu Arduino IDE, toto programovací prostředí bylo naprogramováno v jazyku Java, používá programovací jazyk Wiring, který vychází z jazyku C a C++, jelikož na mnoho funkcí jazyků C a C++ jsou vytvořeny knihovny, byla zjednodušena práce s programováním. Navíc je Arduino IDE zdarma je stažení z oficiálních stránek.

Programovací prostředí Arduino IDE se skládá ze 3 částí viz obrázek 3.1, v první části se deklarují globální proměnné a knihovny, pomocí kterých se usnadňuje práce s programem. Druhým blokem je nastavení „setup()“, zde se inicializují porty, nastavuje se zde sériový monitor atd. Do této části se vypisují funkce, které se provedou pouze jednou na začátku programu.

V třetí části „loop()“ (z angličtiny smyčka), která se neustále opakuje, se vypisují příkazy, které obsluha chce aby deska prováděla.



Obrázek 3.1 Programovací prostředí Arduino IDE

3.5 Komunikační zařízení

Pro komunikaci s ovladačem využívá tento dron samostatnou desku Frsky XM+, která má zajišťovat radiovou komunikaci. I přesto že je ESP 32 schopno komunikovat přes Wi-Fi nebo Bluetooth, tak dosahy těchto komunikačních technologií nejsou konstruovány na velkou vzdálenost (desítky až stovky metrů). Komunikace přes rádiové vlny bude probíhat na frekvenci 2,4 GHz přes až 16 kanálů. To by neměl pro přijímač problém, protože se jedná o radiový přijímač navržený přesně pro rádiově ovládané drony [28].

3.6 Baterie

Baterie značky TCBWORTH s kapacitou 4000 mAh, konfigurací 4S1P, tedy 4 články sériově a jeden paralelně, má nominální hodnotu napětí 14,8 V. tato baterie se dá pořídit se třemi hodnotami čísla C, těmi jsou 25C, 35C a 60C. Při 4 Ah je maximální proud baterie s 25C roven 100 A, pro 35C 140 A, a pro 60C je tato hodnota rovna 210 A. Již zvolená ESC dokáže dodávat do motorů 30 A kontinuálně nebo 35 A ve špičce, tedy 4 krát 35 je 140 A. Je možné tedy použít baterii s hodnotou 35C. V této hodnotě není zahrnuta spotřeba všech ostatních modulů, u kterých může odběr proudu být i v jednotkách A, a proto bude vhodnější, a hlavně bezpečnější zvolit baterii s hodnotou 60C [29].

3.7 Doplnková zařízení

Mezi doplňková zařízení jsou zařazeny moduly GPS a gyroskop. Modul GPS není pro funkci dronu podstatný, váha dronu však přesahuje hmotnost 910 g, spadá tedy do druhé kategorie dronů a dle předpisu L2 [14] musí drony přesahující tuto hmotnost mít GPS lokátor, systém automatického přistání na vzletové pozici nebo možnost bezpečného přistání při ztrátě signálu z ovladače.

GPS modul byl zvolen GY-NEO6MV2, počáteční pozice vzletu dronu se uloží do paměti modulu, tato paměť je energeticky nezávislá (non-volatile memory), to znamená, že při restartu modulu nebo výpadku napájení se nesmaže původní pozice a modul bude stále schopen dronu povědět, odkud vzlétl a nezavede ho někam jinam [30].

Modul gyroskopu v sobě ukrývá i akcelerometr a výškoměr. Drony musí mít gyroskop, aby se palubní počítač mohl dozvědět, jestli je dron vzhůru nohama, zatáčí atd. Data z gyroskopu dále pomáhají počítači při zpracovávání signálu příchozího z ovladače, jako reference, ke které počítač přičítá nebo od ní odčítá hodnotu, kterou poté pošle do ESC modulů, jež řídí motory [31].

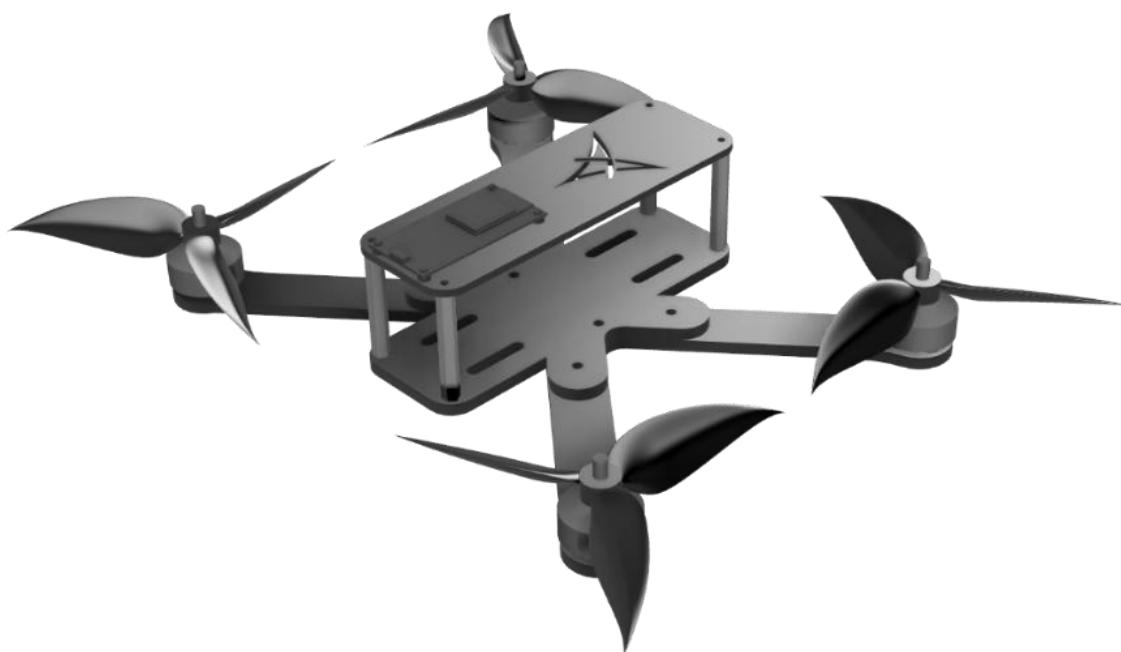
4 NÁVRH RÁMU DRONU

Hlavními body této kapitoly je popis návrhu a součástí vymodelovaných v 3-D modelovacím prostředí programu Fusion 360.

4.1 Výběr rámu

Při výběru rámu bylo v celku jednoznačné, že bude zvolen typ True X (viz obrázek 1.7), z tohoto důvodu, že tento typ rámu bude nabízet dobrou stabilitu. Prvotním návrhem bylo vytvořit Hybrid X (viz obrázek 4.1), přičemž tento návrh byl zrušen kvůli nedostatkům, které převyšovaly jeho benefity.

4.2 Prvotní návrh Hybrid True X rámu



Obrázek 4.1 Prvotní návrh rámu typu Hybrid X

Vize True X rámu zůstala aktuální i při druhém návrhu, tím je však True X se spodním zavěšením kapsle se senzory, avšak baterie byla umístěna na vrch dronu, aby bylo sníženo riziko poškození baterie.

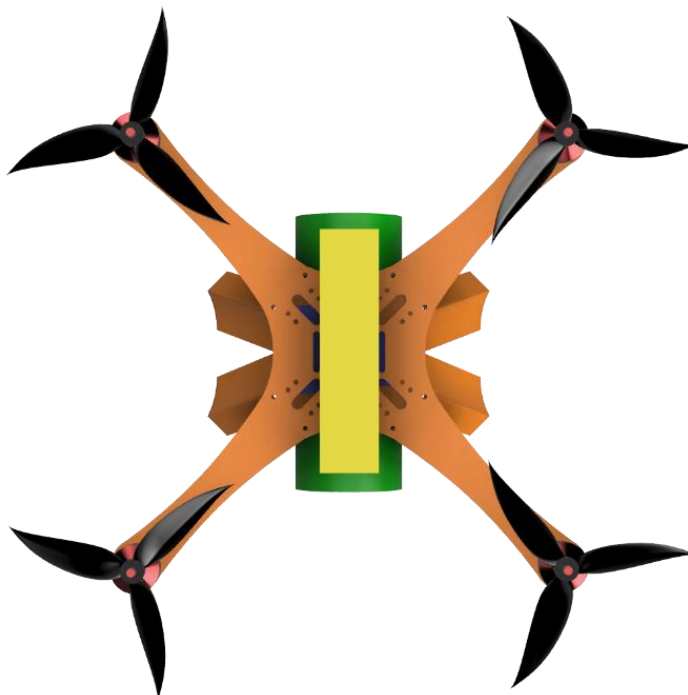
4.3 Návrh True X rámu verze 1. se spodním zavěšením



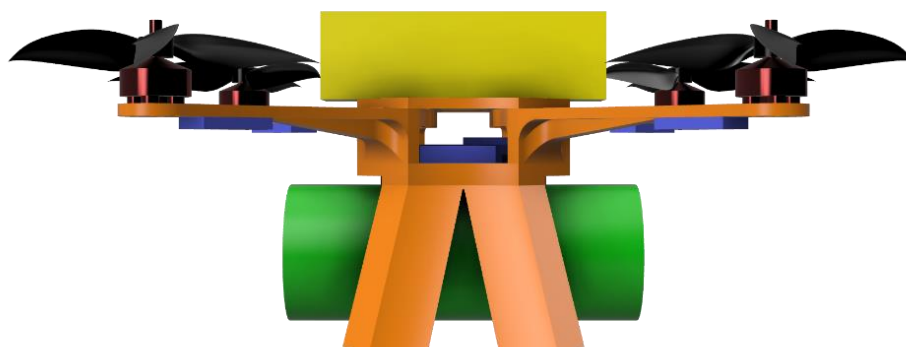
Obrázek 4.2 Sekundární návrh dronu s True X typem rámu

Z obrázku 4.2 je patrné, že zavěšením senzorů pod dron a umístěním baterie na vrch dronu se těžiště posune blíže k centru dronu, čímž se zlepší celková stabilita, a i ovladatelnosti dronu.

Model je barevně rozdělen, aby bylo na první pohled jasné, kde jsou které komponenty. Oranžovou barvu má rám dronu, který bude zhotoven na FFF 3-D tiskárně z PETG plastu, žlutá barva vyznačuje baterie tvaru kvádra, zelenou barvu dostala kapsle se senzory, modrou barvu mají všechny elektronické komponenty (ESC, ESP, gyroskop a GPS modul), červenou barvou mají veškeré motory a černou barvou jsou zobrazeny vrtule.



Obrázek 4.3 Pohled svrchu



Obrázek 4.4 Pohled z boku

Model je navrhován tak, aby se centrum gravitace dostalo do centra dronu, jak již bylo uvedeno výše. Z obrázku 4.4 je zřejmý návrh symetrického postupu dronu při pohledu z boku, což napomáhá ve stabilizaci a rovnováze dronu za letu.

Při pohledu z boku viz obrázek 4.4 je vyobrazena uprostřed dronu dutina, ve které jsou umístěny všechny elektronické komponenty (GPS, ESP32, gyroskop a komunikační zařízení). Toto řešení bylo zvoleno z důvodu ochrany elektroniky, zkrácení datových a napájecích vodičů a tím snížení váhy dronu. ESC jednotlivých motorů jsou umístěny na ramenech dronu co nejbližší k samotným motorům.

4.4 Návrh částí rámu

Dron je rozdělen na 8 částí, a to z důvodu omezení tiskové plochy 3-D FFF tiskárny Anet AM8. Tiskový objem je 22x22x24 cm. Jednotlivé části jsou:

- 4 ramena
- Vrchní spojovací plát (dále jen Top plate)
- Dolní spojovací plát (dále jen Bot plate)
- 2 nohy

4.4.1 Ramena

Ramena jsou čtyři, pro každý motor a příslušné ESC jedno. Jsou 5 mm široká a nachází se v nich jedenáct děr, čtyři kruhové díry o průměru 3 mm (v levé části modelu rameno na obrázku 4.5) sloužící k pevnému spojení Top plate s jednotlivými rameny, zbývající dvě díry opět o průměru 3 mm slouží ke spojení Top plate ramene, Bot plate a noh. Tyto šrouby o minimální délce 38 mm zajistí pevné spojení dronu. Čtyři díry o průměru 3 mm (v pravé části modelu rameno na obrázku 4.5) mají sloužit k připevnění motoru k ramenu a díra uprostřed je využita pro přístup ke šroubu, C klipu nebo E klipu na spodu hřídele rotoru.

4.4.2 Top a Bot plate

Spojovací pláty mají několik důležitých funkcí. Mezi nejvýznamnější funkce patří vytvoření vlastního těla dronu, ochrana elektroniky a zajištění připojení kapsle se senzory. Na obrázku 4.6 vidíme model Bot platu při pohledu zespodu. Výstupek se třemi dírami uprostřed slouží k připojení kapsle se senzory.

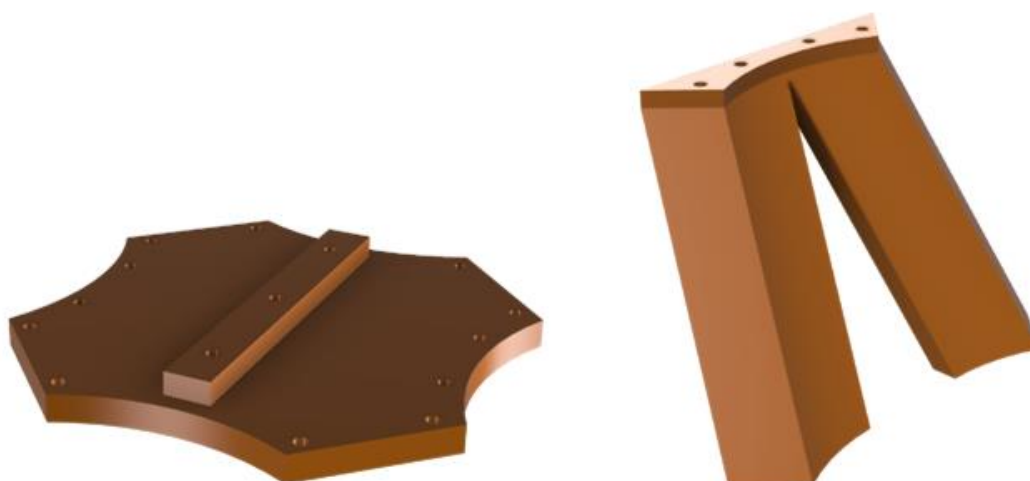
V top platu je ještě šest slotů, jejichž funkcí je zjednodušení vedení vodičů skrze model, čtyři z nich směřují k jednotlivým ramenům a slouží k protažení vodičů od ESC modulů a zbylé dva umístěné uprostřed slouží k protažení suchého zipu pro připevnění baterie.

4.4.3 Nohy

Nohy dronu jsou připevněny čtyřmi šrouby, kde dvě vnější díry jsou pro šrouby, které spojují Top plate, ramena, Bot plate a nohy. Vnitřní dvě díry slouží pro připojení nohou k Bot platu.



Obrázek 4.5 Model ramene dronu (nalevo) a model Top plate (napravo)



Obrázek 4.6 Model Bot plate (nalevo) a model nohou dronu (napravo)

4.5 Návrh True X rámu verze 2. se spodním zavěšením

Jelikož nebylo možné nakoupit elektronické součásti z Číny, musela být přemodelována první verze True X rámu. V této kapitole budou detailně popsány změny a porovnány díly z verzí jedna a dva.

4.5.1 Elektronické komponenty

Tabulka 4.1 Přehled použitých komponentů

Součást	Značka	Označení	Počet [ks]	Cena/ks [Kč]
Ovladač	Flysky	FS-i6X	1	1499
Motory	Emax	XA2212-980KV	4	380
Baterie	Gens ACE	LiPo 4S 4Ah 25C	1	1499
Gyroskop	-	MPU92500	1	-
Řídící jednotka	ESP32	DevKit v1	1	-
ESC	EMax	BLHeli 25A	4	370
Přijímač	Flysky	X6B	1	-
Vrtule pár	GPX Extreme	10x4,5 CW/CCW	3	74
PDB	Matek	mini HUB XT60	1	119
Nabíječka	IMAX	B6 80W	1	565
Cena celkem [Kč]	(cena je včetně dopravy)			7071

V tabulce 4.1 jsou uvedeny komponenty zakoupené v České republice. Rozdíly mezi použitými součástkami v tabulce 3.1 jsou: motory byly vyměněny za kusy s 980KV, tudíž s nižšími otáčkami na Volt, protože dron je osazen deseti palcovými vrtulemi, které mají pro tyto motory nejlepší poměr účinnost/výkon,

ESC byly vyměněny za dvacet pět ampérové moduly, které jsou vhodnější pro zvolené motory.

Přijímač, který přišel jako součást balení s ovladačem je až deseti kanálový přijímač X6B, u kterého je využito ovšem jen 6 kanálů, protože bylo využito PWM konektoru.

Jelikož byly otáčky motorů sníženy koeficientem KV, tak byla vybrána baterie v konfiguraci 4S, tedy změna z 11,1 V na 14,8 V.

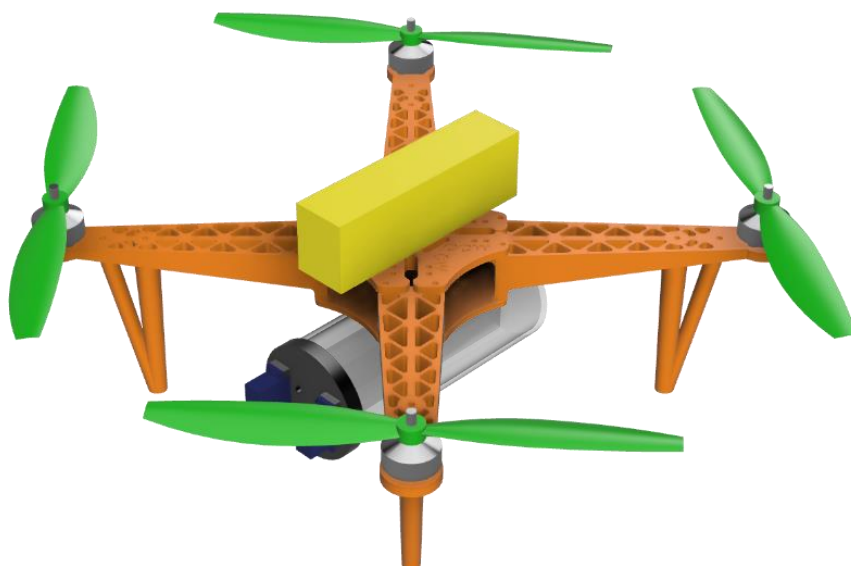
Byla dokoupena power distribution board (dále jen PDB), která slouží jako prostředním mezi baterií a ESC moduly. PDB značky Matek má v sobě integrované dva napěťové regulátory na 5 V a 12 V, zároveň jsou na desce dvě plošky, na kterých lze měřit napětí baterie. Napětí na baterii bude měřit přijímač, ten odesílá hodnotu do ovladače, který ji zobrazuje na displeji.

Stabilizované napětí z PDB bude použito pro přímá napájení řídicí jednotky (ESP32) z baterie, tím se eliminuje potřeba přídavného napěťového regulátoru.

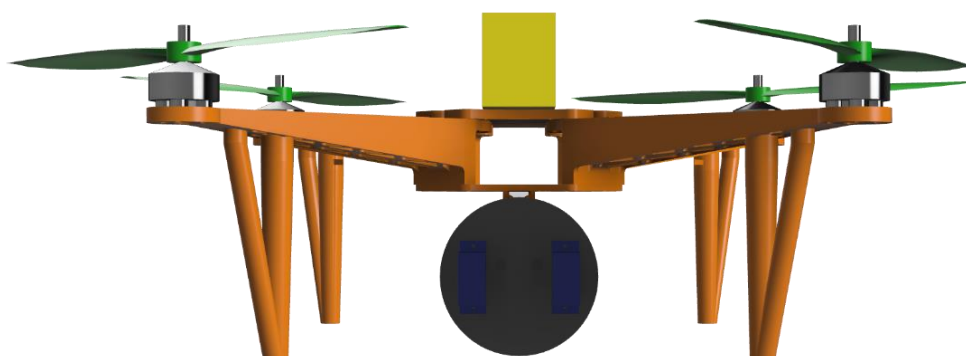
Řídící jednotkou může být jak v tomto případě ESP32 DevKit v1, tak Lolin32 nebo jakákoliv jiná deska tohoto typu. Poté bude však potřeba přeprogramovat GPIO piny desky v programu.

4.6 Rám verze 2

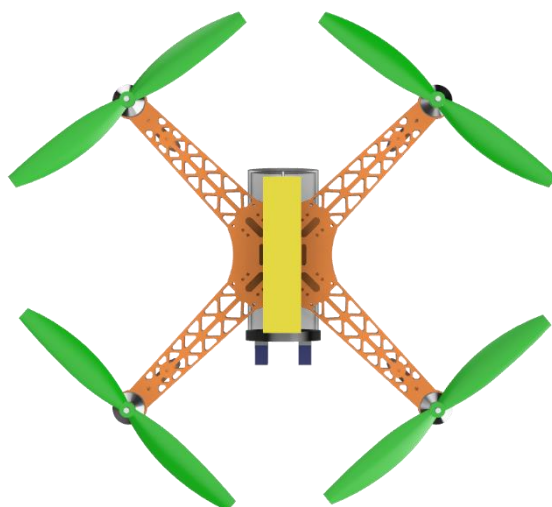
Na obrázcích 4.9, 4.10 a 4.11 jsou 3 různé pohledy na model dronu s True X rámem verze 2.



Obrázek 4.7 Kompletní 3-D model dronu



Obrázek 4.8 Pohled zepředu



Obrázek 4.9 Pohled svrchu

4.7 3-D tisknuté díly pro verzi 2

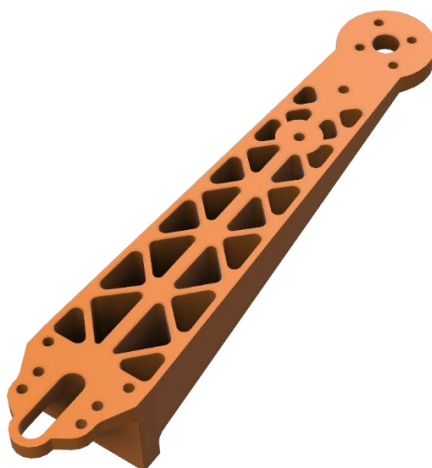
Tisk byl opět proveden na tiskárně Anet AM8, ne však z PETG, ale z PLA. Tento plast není stejně odolný v ohybu, ale je pevnější, snazší na tisk a levnější.

Dron je rozdělen na 10 dílů, těmi jsou čtyři ramena, Top plate; Bot plate a čtyři nohy k ramenům.

4.7.1 Ramena

Největší změnou prošla ramena dronu, musela být prodloužena, aby připevněné motory mohly být osazeny vrtulemi 10x4,5.

Dále pak byl na ramenou vytvořen vzor děr, který značně odlehčí model. Posledními změnami oproti verzi 1 jsou 2 díry o průměru 3 mm na připevnění nohou a samotné upevnění motorů nejsou již 4 díry ve vzdálenosti 8 mm od osy motoru, nýbrž však dva páry děr ve vzdálenosti 8 a 9,5 mm od osy motoru.



Obrázek 4.10 Rameno v2

4.7.2 Top a Bot plate

Top plate prošel pouze estetickými změnami, jak je vidět na obrázku 4.11 byly vymodelovány texty PDB, REC, CW, CCW a šipka. Tyto texty byly vytvořeny za účelem zjednodušení práce při stavbě a provozu dronu. Šipka udává směr letu dopředu, PDB poukazuje na místo, kde se připevní PDB a pod text REC se přimontuje receiver X6B.

CW a CCW značí, který typ vrtule se připevňuje kam.

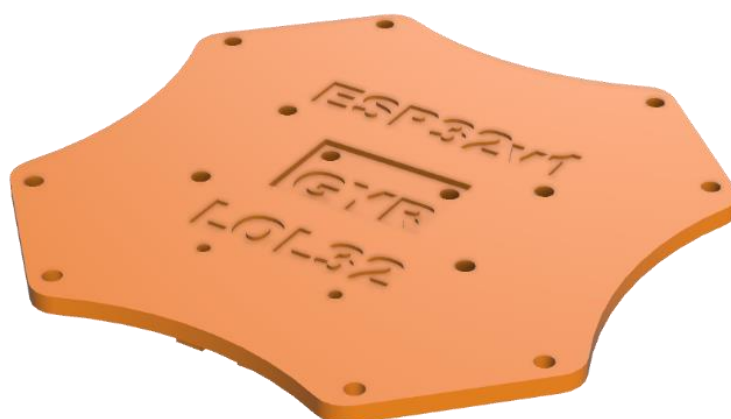
Poslední změnou jsou úzké výřezy na krajích Top plate směrem k ramenům, tyto výřezy slouží k jednodušší manipulaci s kabeláží od ESC modulů.

Bot plate viz obrázek 4.12 také prošel pouze estetickými úpravami, jsou zde montovací díry a popisky pro gyroskop (GYR), ESP32 ve verzi Lolin (LOL32) a DevKit v1 (ESP32v1).

Model nohou byl zjednodušen oproti verzi 1 tím, že jednotlivé nohy jsou připojeny k ramenům pomocí dvou M3 šroubů a M3 matice, která se vloží do výřezu v tlustším válci nalevo viz obrázek 4.13, a ne k Bot plate.



Obrázek 4.11 Top plate s popisky



Obrázek 4.12 Bot plate s popisky

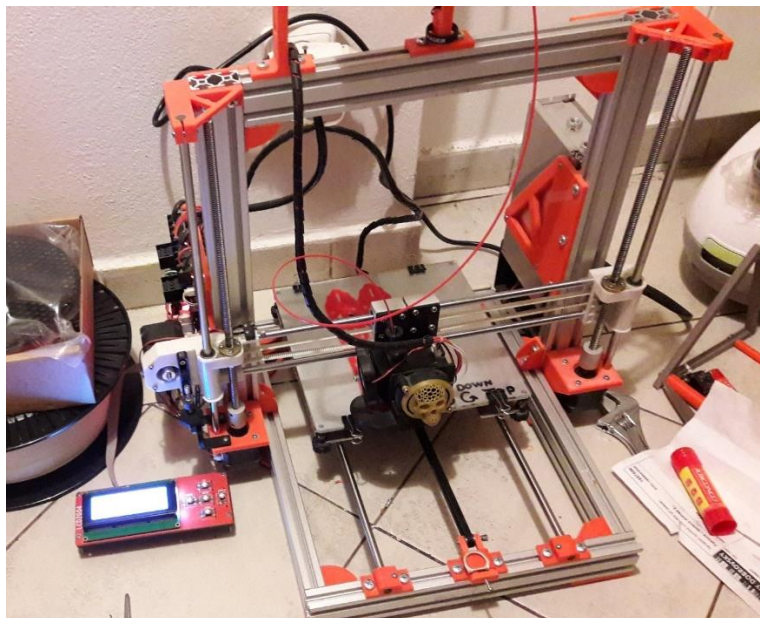


Obrázek 4.13 Noha

5 TISK A KONSTRUKCE RÁMU

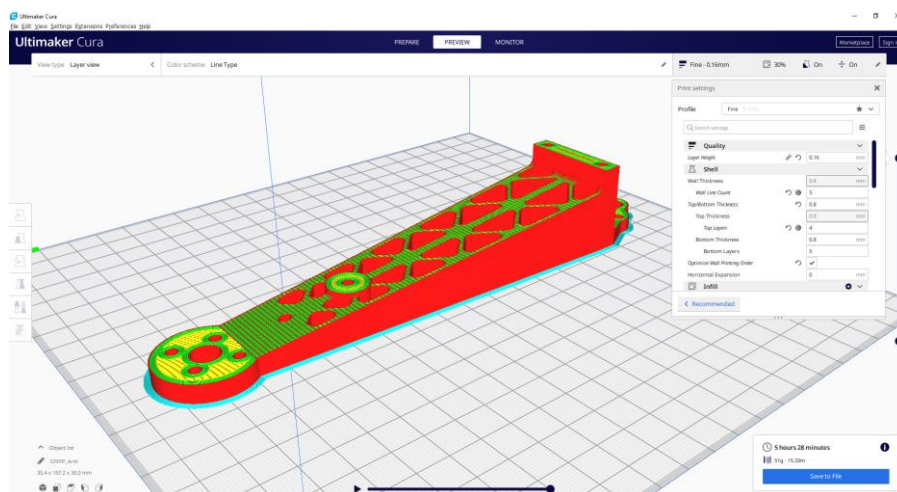
Tato kapitola se bude věnovat výrobě a fyzické konstrukci rámu a osazení elektronických součástí dronu.

5.1 Tisk rámu



Obrázek 5.1 Tisk ramen na 3-D tiskárně Anet AM8

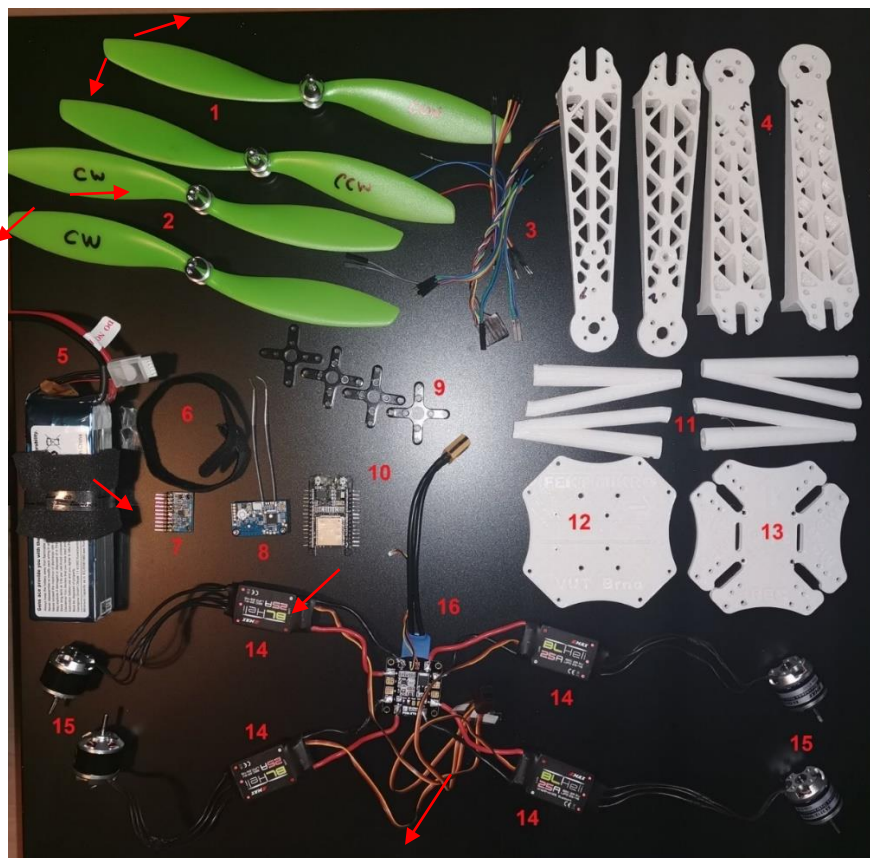
Rám byl vytištěn na 3-D tiskárně Anet AM8, u Top a Bot plate byla nastavena rychlost tisku na 60 mm/s, výška vrstvy na 0,2 mm, výplň typu Cubic (blíží se nejvíce honeycomb výplni, takže udává dílu nejlepší vlastnosti co se týče pevnosti v ohybu). Honeycomb výplň nemohla být použita, protože program Cura, který byl zvolen jako slicer nepodporuje Honeycomb jako výchozí výplň. Jelikož byl rám kompletně vytištěn z PLA plastu, tak teplota trysky byla nastavena podle doporučených hodnot výrobce na 220 °C a teplota vyhřívané podložky na 60 °C.



Obrázek 5.2 Model ramene v programu Cura

U ramen byla výška vrstvy snížena na 0,16 mm, rychlost tisku na 45 mm/s a výplň zůstala stejná jako u ostatních dílů. Pro zlepšení přilnutí horkého plastu byl přidán brim (okraj) viz obrázek 5.2, protože bylo nutné, aby ramena byla rovná, i když k odlepení modelu během tisku se při tisku PLA plastu stává velmi zřídka.

5.2 Konstrukce rámu



Obrázek 5.3 Součásti dronu

Seznam součástí:

1. 2x vrtule 10x4.5 CCW (proti směru hodinových ruček)
2. 2x vrtule 10x4.5 CW (po směru hodinových ruček)
3. Jumper wires (propojovací dráty)
4. 4x ramena
5. Baterie 4S 4Ah
6. Pásek se suchým zipem pro upevnění baterie ke dronu
7. Gyroskop GY9250/6500
8. Receiver (přijímač) X6B
9. 4x spacer mezi motory a ramena
10. Řídící jednotka ESP32 DevKit v1
11. 4x nohy dronu
12. Bot plate
13. Top plate
14. 4x ESC (elektronické rychlostí ovladače)
15. 4x motory XA2212/980KV
16. PDB (power distribution board)

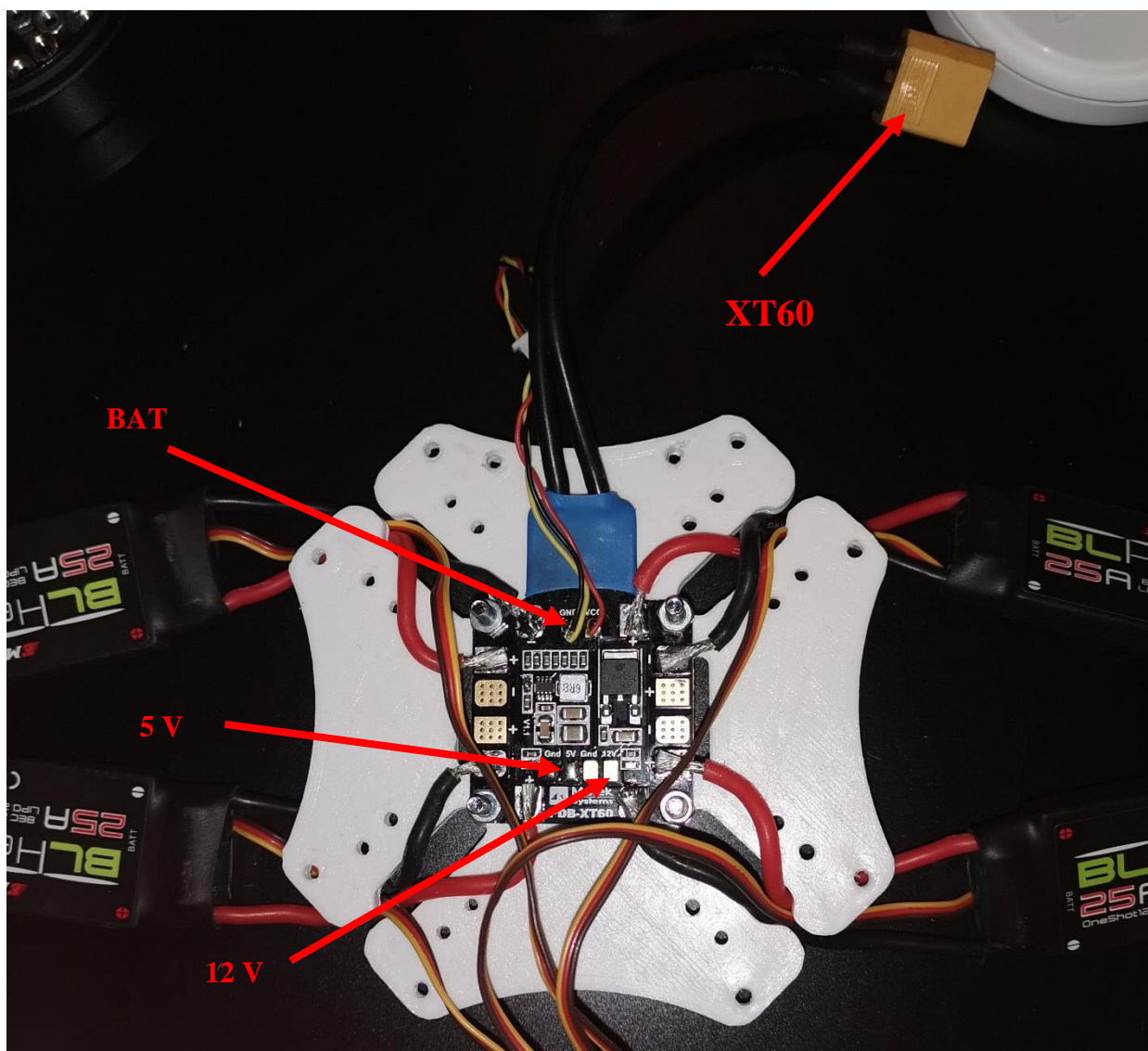
Z obrázku 5.3 je patrné, že PDB, ESC a motory jsou již zapájené. Z ESC vede osm kabelů. Dva s největším průměrem jsou napájecí, ty se připojují na plošky PDB (označené znaky „+“ a „-“), poté tři užší černé barvy se připojují k napájecím kabelům jednotlivých motorů, je jedno v jakém pořadí, protože pokud se motor točí na špatnou stranu, stačí pouze přepájet jakékoliv dva dráty a moto se bude točit na druhou stranu, zbylé 3 kabely barvy červené, hnědé a žluté slouží jako 5V stabilizované napětí (červený a hnědý kabel) a žlutý slouží pro ovládání ESC modulu, je to tedy Signal Input (vstup signálu).



Obrázek 5.4 Připevnění gyroskopu k Bot plate (nalevo) a připojení ESP32 (napravo)

Prvním krokem je připevnit gyroskop na Bot plate pomocí dvou M3x5 šroubů do montážních otvorů. Je možné gyroskop k Bot plate přilepit, sníží se celková hmotnost dronu, ale pokud se Bot plate poškodí, bude velmi složité gyroskop vyjmout a použít v novém dílu.

Poté se zespodu Bot plate prostrčí čtyři šrouby M3x17 se zápusťnou hlavou, na ně se buď vloží plastová trubička s minimálním vnitřním průměrem 3 mm, aby se ESP32 nedotýkalo gyroskopu pod ním. Montáž pomocí matek je u této desky velmi problematická, protože se matice dotýkají v levé části obou tlačítek a napravo kontaktů, proto byla deska upevněna pouze pomocí lepidla z tavné pistole. U desky také musí být ohnuté vývody, aby bylo možné připojovat a odpojovat dráty při programování. Ve finální verzi ovšem musí být dráty připájeny, aby nemohlo dojít k náhodnému odpojení drátu při letu, což by mohlo mít katastrofální následky pro dron.

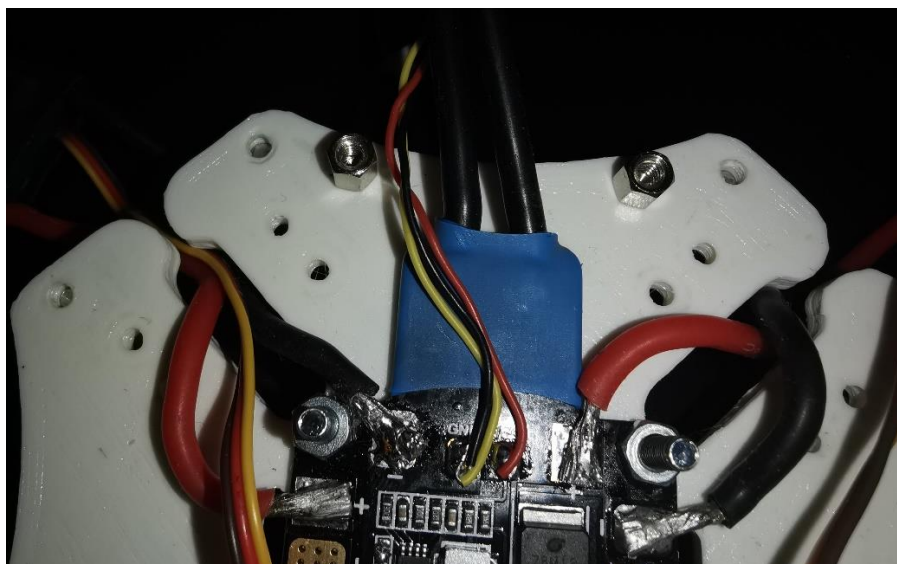


Obrázek 5.5 PDB připevněná k Top plate

Svrchu Top plate se prostrčí 4 šrouby M3x15, zespodu se našroubují čtyři matice M3, které tvoří mezeru mezi PDB a Top plate, aby se PDB nepřehřívala. Po nasazení desky, kde XT60 konektor musí směřovat dozadu dronu (proti vymodelované šipce, která je na vrchu Top plate), se PDB upevní pomocí dalších čtyř matic M3.

V obrázku 5.4 jsou vyznačené plošky 5 V regulátoru, 12 V regulátoru a plošek pro měření napětí na baterii (BAT), na které jsou připájeny kabely s konektorem pro přijímač.

Dalším krokem je prostrčit napájecí kabely ESC modulů skrze díry viz obrázek 5.5 a připájet je na vyznačená místa na PDB.



Obrázek 5.6 Připevnění distančních sloupků pro přijímač X6B

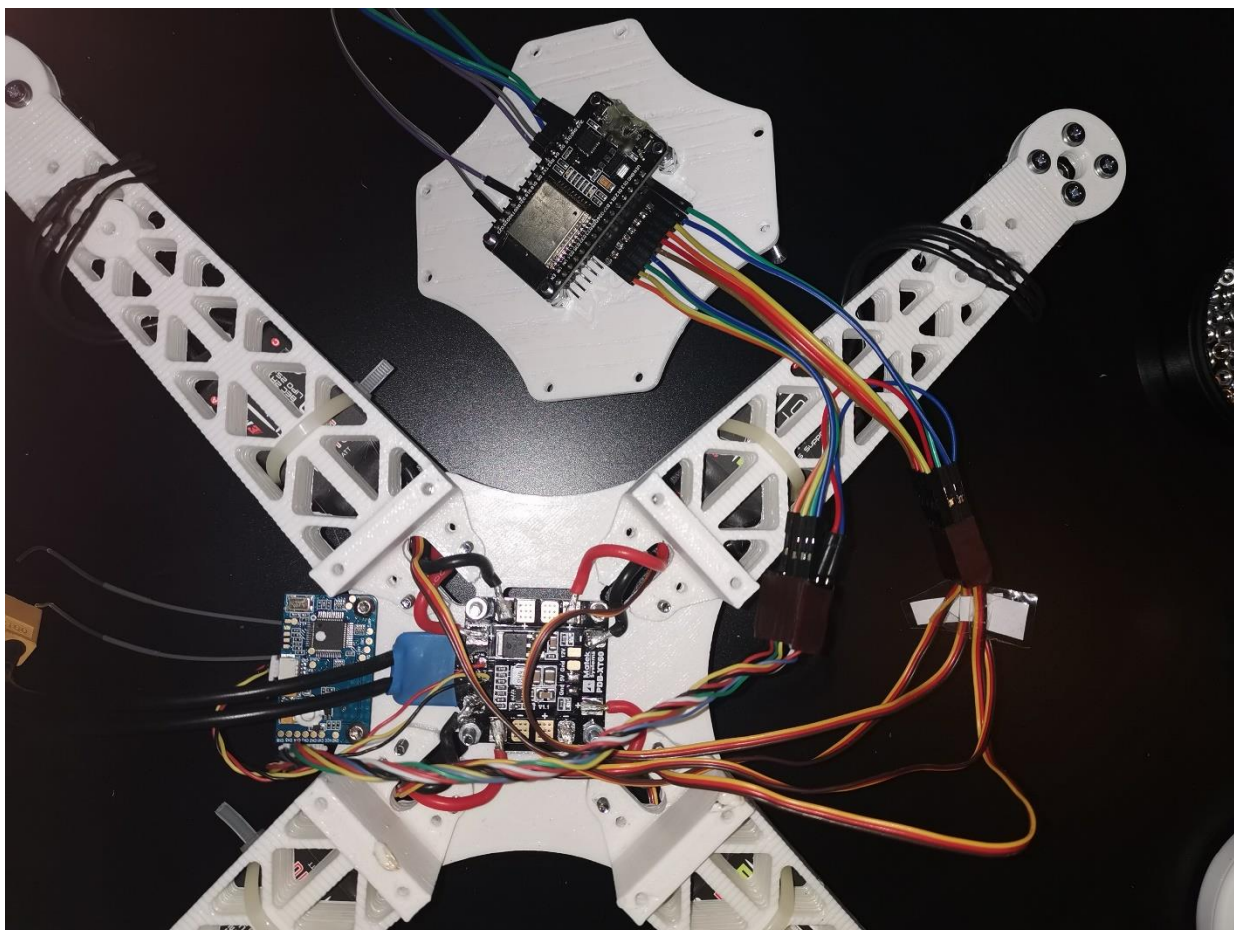
Zespodu pod nápis REC na Top plate jsou upevněny dva distanční sloupky, které se používají pod základní desky v počítačích. Na tyto sloupky se poté namontuje přijímač,



Obrázek 5.7 Připevněná ramena k Top plate

Každé rameno se připevní k Top plate pomocí dvou M3x33 šroubů s knoflíkovou hlavou v rozích viz obrázek 5.7. Další 4 volné díry pro ramena jsou pro zlepšení mechanické pevnosti konstrukce, čtyři šrouby M3x15 se prostrčí těmito otvory a zespodu se nasadí matice M3.

Na vrchu každého ramene jsou pomocí stahovacích pásků připevněny ESC moduly. Na konci každého ramene je motor, připevněný čtyřmi M3x10 šrouby, pro odlehčení dronu stačí motory upevnit pomocí dvou šroubů, za cenu zvýšení vibrací na ramenech.



Obrázek 5.8 Elektrické propojení součástí

Následuje dočasné elektrické propojení součástí pomocí jumper drátů. Reciever má několik konektorů, těmi jsou PWM výstup, PPM výstup, I-BUS výstup a konektor pro měření napětí baterie, na tento konektor jsou připojeny dráty, které jsou připájeny na PDB. Na PWM výstup je připojen svazek kabelů, které byly v balení. Reciever může přenášet až 6 kanálů PWM, 8 kanálů PPM (Pulse Position Modulation – Pulzně-polohová modulace) nebo až 10 kanálů pro I-BUS komunikaci. Pro nejjednodušší ovládání dronu stačí 4 kanály, kanál 1 slouží pro ROLL (příčný náklon), kanál 2 pro PITCH (podélný sklon), kanál 3 pro THROTTLE (plyn) a kanál 4 je pro YAW (zatáčení kolem osy Z). Kabely těchto kanálů jsou připojeny k ESP32. K dalších čtyřem pinům jsou připojeny 4 žluté vodiče z ESC modulů. Napájení recieveru a ESP32 je dočasně provedeno pomocí napěťových regulátorů z ESC, po dokončení testování budou však desky připájeny na 5V regulátor PDB. Gyroskop potřebuje napětí 3,3 V, toto napětí je schopna dodávat řídicí jednotka ESP32, proto již není potřeba přidávat regulátor napětí z 5 V na 3,3 V. Finálním propojením je vytvoření datového spojení mezi gyroskopem a ESP32, gyroskop komunikuje pomocí I²C, proto stačí pouze dvěma kabely propojit kontakty SDA a SCL obou desek, posledním zapojením je spojení vývod uAD0 z gyroskopu s GND kontaktem na ESP32.

Tím je elektrické propojení hotové a stačí jen přišroubovat Bot plate pomocí osmi M3x33 šroubů k ramenům. Posledními kroky při konstrukci dronu je připevnění baterie pomocí pásky se suchým zipem, který se prostrčí otvory v Top plate u nápisu PDB a nasazení vrtulí na příslušné motory, jejichž orientace otáčení je uvedena na Top plate u základů jednotlivých ramen. Motory mají pevnou osu, která je však pro vrtule příliš úzká, a proto jsou použity redukce, které se nasadí na osy motorů, na tyto redukční tyče se závitem se nasadí vrtule a přišroubují se maticemi M6. Problém nastává při otáčení motorů po směru hodinových ručků, protože redukce byly vytvořeny pro otáčení proti směru hodinových ručků, tím se totiž samy utahují. Tento problém se dá vyřešit buď použitím pojistných matek s gumičkou, u kterých je problém protáčení osy a velmi těžké manipulace nebo pomocí lepidel na závity.



Obrázek 5.9 Pohled svrchu na dron

6 PROGRAMOVÁNÍ ESP32

6.1 Test čtení hodnot z recieveru

```
#include "PWM.hpp"
PWM ch1(33);          // Pin 36 - vstup CH1 z recieveru
PWM ch2(32);          // Pin 39 - vstup CH2 z recieveru
PWM ch3(35);          // Pin 34 - vstup CH3 z recieveru
PWM ch4(34);          // Pin 35 - vstup CH4 z recieveru
int K1, K2, K3, K4; // Integer K1-K4 = zmapovaná hodnota na kanálech 1-4

void setup() {
    Serial.begin(115200); // Sériový monitor pro zobrazování hodnot (debug)
    // ch1-ch4 na pinu 32-35 čte délku HIGH stavu PWM signálu t[us]
    ch1.begin(true);
    ch2.begin(true);
    ch3.begin(true);
    ch4.begin(true);
}

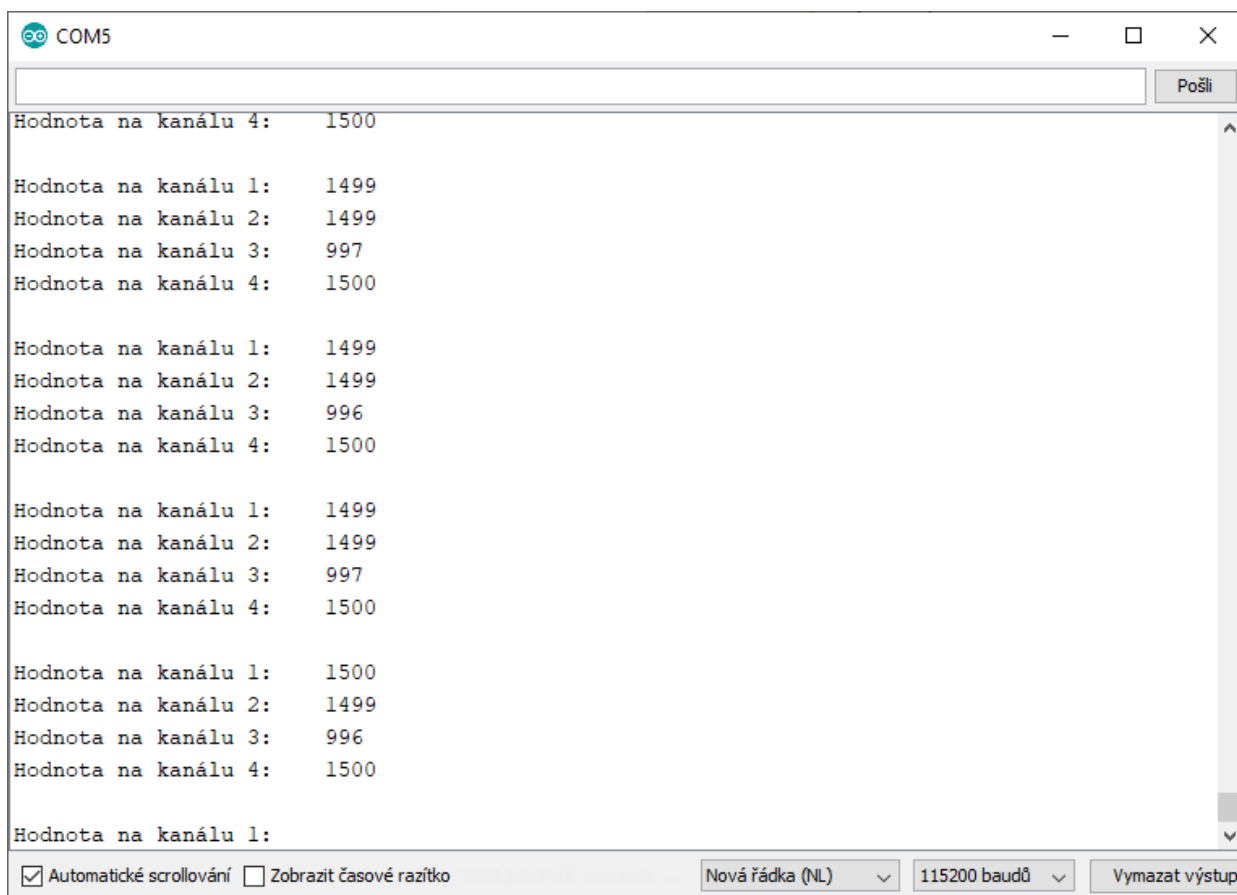
void loop() {
    //Do konstant K1-K4 se запиší změřené hodnoty z recieveru
    K1 = ch1.getValue();
    K2 = ch2.getValue();
    K3 = ch3.getValue();
    K4 = ch4.getValue();
    Serial.println("Hodnota na kanálu 1: \t" + String(K1)); //Vypíše text v ""
    Serial.println("Hodnota na kanálu 2: \t" + String(K1));
    Serial.println("Hodnota na kanálu 3: \t" + String(K2));
    Serial.println("Hodnota na kanálu 4: \t" + String(K3));
    //vepíše prázdný řádek, aby byl sériový monitor přehlednější
    Serial.println();

    delay(100); //Počká 100 ms, poté se void loop() opakuje.
}
```

V tomto programu se v sekci proměnných deklarují GPIO piny ESP32 ke kterým jsou připojené výstupy z přijímače a vytvoří se proměnné K1-K4, do těchto konstant se bude zapisovat aktuální hodnota, kterou přijímač dostane z vysílače.

V části nastavení programu (void setup()) se zapne sériový monitor příkazem `Serial.begin(115200)` kde číslo v závorkách udává rychlost přenosu v bodech. Dále jsou pak piny ESP32 nastaveny na zpuštění měření na náběžné hraně příkazem `ch1.begin(true)`, který pochází z knihovny PWM.hpp [32]

Ve smyčce void (loop) se poté funkcí `ch.getValue()` změří délka signálu v mikrosekundách a запиše se do konstant K1-K4. Pro vypsaní hodnot do sériového monitoru slouží funkce `Serial.print()` nebo `Serial.println()`, která za každým výpisem automaticky vloží znak nového řádku.



Obrázek 6.1 Sériový monitor programu ONLY_READ_PWM_ESPDevKitv1

Hodnoty, které posílá receiver do ESP32 jsou v mikrosekundách. Minimu, kdy páka je vychýlená dolů (pro kanál 2 a 3) nebo doleva (pro kanály 1 a 4) odpovídá hodnota 1 ms (1000 μ s). Maximu odpovídá hodnota rovna 2 ms (2000 μ s). Jelikož jsou páky kanálů 1, 2 a 4 mechanicky centrovány, tak v sériovém monitoru viz obrázek 6.1 se pro tyto kanály v ustáleném stavu hodnota rovná nebo úzce přibližuje číslu 1500.

6.2 Roztočení motorů

Pro roztočení všech motorů je nutné připojit datové kabely z ESC modulů k ESP32, v programu deklarovat proměnné, vytvořit objekty `servo` (ESC) a nakonec zapsat hodnotu z kanálu 3 (páka plynu) ovladače na všechny 4 ESC moduly zároveň.

```
#include "ESP32Servo.h"
Servo myservo1;      //objekty ESC modulů
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;

#define M1Pin 27      //piny motorů
#define M2Pin 14
#define M3Pin 12
#define M4Pin 13
```

Nejprve je nutné připojit knihovnu `ESP32Servo.h`, díky které není potřeba pracovat s časovači [33].

Dalším krokem je vytvoření objektů ESC modulů příkazem `Servo myservo` a nadefinovat piny ESP32, na kterých jsou připojeny signálové vodiče z ESC modulů, pro desku DevKit v1 jsou to piny 12, 13, 14 a 27.

```
void setup() {
  myservo1.attach(27);
  myservo2.attach(14);
  myservo3.attach(12);
  myservo4.attach(13);
}
```

V nastavení programu se na předdefinované piny připojí ESC moduly funkcí `myservo.attach()`, kde do závorky se doplní číslo GPIO pinu.

```
void loop() {
  myservo1.writeMicroseconds(K3);
  myservo2.writeMicroseconds(K3);
  myservo3.writeMicroseconds(K3);
  myservo4.writeMicroseconds(K3);
}
```

Ve smyčce programu stačí na všechny ESC moduly poslat stejný signál, který přijde z přijímače. Použitou funkcí je `myservo.writeMicroseconds()`, kde již z překladu „zapiš mikrosekundy“, je jasné, že číslo, které ESP32 přečte z receiveru v hodnotě 1-2 ms se zapíše na všechny objekty `servo` zároveň. Kanál 3 (konstanta `K3`) byl zvolen z důvodu možnosti pohybu páky na ovladači v celém rozsahu, aniž by se páka mechanicky centrovala.

Po nahrání kódu, připojení baterie a pohnutí páky na ovladači se všechny motory roztočí zároveň, tím se potvrdí funkce programu.

6.3 Ovládání pohybu kolem os a gyroskop

Největší změnou prošel program při nastavování ovládání podélného sklonu (Roll), příčného náklonu (Pitch), zatáčení (Yaw) a přidání funkce gyroskopu.

```
#include "MPU9250.h"
float status;
float AcX, AcY, AcZ;
int16_t A, B, C, D;
int16_t Multiplier;
float pitch, roll, PB, PF, RR, RL;
int16_t PitchB, PitchF, RollR, RollL;
uint16_t M1, M2, M3, M4;
uint16_t Throt, rollL, rollR, pitchF, pitchB, yawR, yawL;
uint16_t Failsafe;
```

Pro zajištění funkce gyroskopu byla přidána knihovna MPU9250.h [34], která obsahuje předpřipravené funkce.

Ve finální verzi programu byly vytvořeny proměnné, pro jednotlivé funkce programu. Jednodušším zápisem by bylo použití matematických funkcí, kdy by se proměnné měnily v průběhu programu, tím se však značně sníží přehlednost a ztratí se možnost jednoduchého hledání chyb (dále jen Debug).

Do proměnných AcX, AcY a AcZ se nahrají změřené hodnoty z akcelerometru.

Proměnné A, B, C a D obsahují přepočítané hodnoty z gyroskopu a přičítají se k proměnným M1, M2, M3 a M4.

Multiplier je proměnná hodnota, která se nastavuje potenciometrem na ovladači a upravuje sílu působení gyroskopu na dron.

Proměnné pitch, roll, PB, PF, RR, RL slouží k přepočtu hodnot z akcelerometru na stupně.

PitchB, PitchF, RollR, RollL slouží k převedení datového typu float (PB, PF atd.) na typ int16_t.

M1, M2, M3 a M4 jsou proměnné, které se posílají přímo do ESC modulů, které jsou tak řízeny.

Throt, rollL, rollR atd. jsou konstanty, které rozdělují rozsahy pák na ovladači na půl, názvy určují, o kterou páku jde.

Funkce MPU9250 IMU(Wire, 0x68), vytvoří objekt modulu MPU9250 na I²C sběrnici 0 s adresou 0x68, je však nutné propojit vývod AD0 z gyroskopu s GND kontaktem ESP32. Tímto končí deklarace proměnných a objektů programu.

V části nastavení programu se zapne komunikace s gyroskopem pomocí funkce `status = IMU.begin()`, kdy proměnná status se použije při hledání chyb, nebo pouze pomocí `IMU.begin()`.

```

void loop() {
IMU.readSensor();
  K1 = ch1.getValue();
  K2 = ch2.getValue();
  ...
  Multiplier = K5;
  Failsafe = K6;
  Throt  = K3;
  rollL  = map(K1, 1000, 1480, 250, 0);
  rollR  = map(K1, 1520, 2000, 0, 250);
  pitchB = map(K2, 1000, 1480, 250, 0);
  pitchF = map(K2, 1520, 2000, 0, 250);
  yawL   = map(K4, 1000, 1480, 250, 0);
  yawR   = map(K4, 1520, 2000, 0, 250);
  Multiplier = map(K5, 1000, 2000, 1, 10);
  if(rollL > 255) {rollL = 0;}
  if(rollR > 255) {rollR = 0;}
  if(pitchB > 255){pitchB = 0;}
  if(pitchF > 255){pitchF = 0;}
  if(yawL > 255) {yawL = 0;}
  if(yawR > 255) {yawR = 0;}
  if(Multiplier > 11) {Multiplier = 0;}
}

```

Ve smyčce programu se nejprve přečtou hodnoty, které posílá gyroskop funkcí `IMU.readSensor()`.

Poté se přečte všech šest kanálů receiveru a hodnoty se nahrají do proměnných K1-K6.

Jelikož Failsafe je pouze spínač a páka plynu se využívá v celém rozsahu, tak stačí tyto dva kanály přechíst a zapsat.

Ostatní kanály se na druhou stranu musí upravit, protože zbylé tři páky jsou centrovány doprostřed rozsahu. Toho se docílí rozdělením na dvě proměnné a následné vytvoření nového rozsahu. Uprostřed rozsahu (20 bodů na každou stranu od středu) je vytvořena mrtvá zóna, kde páka nebude mít vůbec žádný vliv, zamezí se tím překmit z jedné proměnné do druhé.

Multiplier se nastavuje pomocí potenciometru na ovladači, stačí pouze pomocí funkce `map()` jako v předchozích případech změnit rozsah.

`If()` funkce na konci ukázky slouží k vyfiltrování chybných hodnot, které ESP32 zapisuje pokud se hodnota vyskytuje mimo rozsah.


```

if (Throt>1000){
    A = (Multiplier*PitchF)+(Multiplier*RollL);
    B = (Multiplier*PitchF)+(Multiplier*RollR);
    C = (Multiplier*PitchB)+(Multiplier*RollR);
    D = (Multiplier*PitchB)+(Multiplier*RollL);
}
M1 = Throt+rollR+pitchB+yawL+A;
M2 = Throt+rollL+pitchB+yawR+B+3;
M3 = Throt+rollL+pitchF+yawL+C+3;
M4 = Throt+rollR+pitchF+yawR+D;

if (Failsafe < 1500){
    M1 = 0;
    M2 = 0;
    M3 = 0;
    M4 = 0;
}
myservo1.writeMicroseconds(M1);
myservo2.writeMicroseconds(M2);
myservo3.writeMicroseconds(M3);
myservo4.writeMicroseconds(M4);
Debug();

```

V první řadě je potřeba vyhodnotit náklon dronu pomocí gyroskopu k tomu slouží funkce `IMU.getAccelX_mss()`, tuto funkci je potřeba napsat třikrát, pro všechny 3 osy (X, Y a Z). Poté se zavolá funkce `getAngle()`, která přepočítá hodnoty z gyroskopu na stupně.

Jelikož jsou výsledné hodnoty stupňů v datovém typu float, je použita funkce `round()`, která zaokrouhlí hodnotu na celá čísla a hodnota se dá dále používat jako `int16_t`.

Převedené proměnné vynásobí hodnotou `Multiplier` a uloží do proměnných A, B, C a D. Ty v kombinaci s proměnnými z přijímače tvoří řídicí proměnné M1, M2, M3 a M4. Řídicí proměnné se dají dále kalibrovat přičtením čísla, jako je to u M2 a M3.

Před posláním hodnot na motory, ESP zkontroluje, jestli je spínač (na ovladači značen jako SWD), pokud je v poloze nahoru je hodnota na spínači větší než 1500 a proto se řídicí konstanty vynulují, tím se docílí programové ohraň na straně ESP32. V ovladači se také nachází bezpečnostní pojistka, která však po úpravě hodnot z ostatních kanálů nedokáže vše vynulovat.

Po kontrole pojistky ESP32 funkcí `myservo.writeMicroseconds()` odešle přepočítané hodnoty na jednotlivé ESC moduly.

```

void getAngle(float Vx, float Vy, float Vz) {
    float x = Vx;
    float y = Vy;
    float z = Vz;

    roll = atan(x / sqrt((y * y) + (z * z)));
    pitch = atan(y / sqrt((x * x) + (z * z)));

    PB = pitch * (180.0 / 3.14);
    if(PB < 0){PB = 0;}
    PF = -(pitch * (180.0 / 3.14));
    if(PF < 0){PF = 0;}
    RR = roll * (180.0 / 3.14);
    if(RR < 0){RR = 0;}
    RL = -(roll * (180.0 / 3.14));
    if(RL < 0){RL = 0;} }

```

Tato funkce přepočítá hodnoty z gyroskopu, které jsou v radiánech na stupně. Použité matematické operace jsou `atan()` a `sqrt()`, jedná se o Arkus Tangens a Square root (druhá odmocnina).

```

void Debug() {
    Serial.println("Hodnota Throttle: " + String(Throt));
    ...
    Serial.println("\tX\tY\tZ");
    Serial.print("Accel:\t");
    Serial.print(IMU.getAccelX_mss(), 3);
    Serial.print("\t");
    ...
    Serial.println("\tÚhel ve stupních (float)");
    Serial.println("Pitch Forward:\t" + String(PF));
    ...
    Serial.println("M1:\t" + String(M1));
    ...
    Serial.println();
    delay(500);
}

```

Poslední funkcí programu je `void Debug()`. Kde se do sériového monitoru vypisují změřené hodnoty, pokud je funkce ve smyčce povolena. Funkce `Serial.println()` vypíše text v uvozovkách a následně hodnotu proměnné v závorkách `String()`.

Na konci je přidána prázdná funkce `Serial.println()`, tím se vypíše prázdný řádek a poté funkce `delay()`, která pozastaví program na dobu, která je uvedena v závorkách v milisekundách.

7 TESTOVÁNÍ

Tato kapitola se bude věnovat testování základních ovládacích funkcí kompletně sestaveného dronu v reálném prostředí. Prvním a nejdůležitějším testem je rotace všech čtyř motorů zároveň, toho je docíleno pohybem páky Throttle směrem nahoru viz obrázek 7.1.



Obrázek 7.1 Test všech motorů dronu

Z obrázku 7.1 je jasně patrné, že se točí všechny čtyři vrtule najednou, jelikož fotoaparát, kterým byla fotografie pořízena má mnohem větší snímkovací frekvenci než oko, nebylo možné vytvořit fotografii, na které bude jasně patrná iluze kruhu, kterou vidí lidské oko.

Otáčky vrtulí dronu se přímo úměrně zvyšují v závislosti na pozici páky Throttle, tím je potvrzen teoretický předpoklad a ověřena správnost napsaného kódu.



Obrázek 7.2 Test podélného sklonu doprava (Roll Right)

Při pohybu páky Roll doprava, se provede podélný sklon ve směru páky zvýšením otáček motorů na opačné straně, v tomto případě na levé straně viz obrázek 7.2.



Obrázek 7.3 Test příčného náklonu dozadu (Pitch Backwards)

Při ověření funkce páky Pitch dozadu (příčný náklon) se zapnou přední dva motory (M1 a M2), tím se docílí náklonu dronu dozadu.



Obrázek 7.4 Testování funkce zatačení doleva (Yaw Left)

Pro zatačení dronu nebo lépe řečeno otáčení kolem svislé osy Z, je zapotřebí roztočit vrtule v dané úhlopříčce. Pro zatočení doleva viz obrázek 7.4 je zapotřebí zvýšit otáčky na motorech M1 a M3.

Při testování gyroskopu byl dron držen v ruce bez nasazených vrtulí a při naklonění na určitou stranu se zvýšil počet otáček na motorech v proti směru pohybu. Tím se potvrdila funkce gyroskopu.

Posledním krokem je testování letových vlastností dronu, základní ovládací funkce byly otestovány s pozitivními výsledky. Ovšem vzhledem k aktuální epidemiologické situaci a opožděným dodávkám některých komponentů a materiálů, nemohla začít funkce letových vlastností ve stanoveném termínu. Jednotlivé komponenty dronu jsou v současnosti ve fázi ladění a letové vlastnosti jsou testovány v reálných venkovních podmínkách.

ZÁVĚR

V moderní době se uplatnění dronů stále rozrůstá. Používají se jak v armádě jako průzkumná nebo bojová zařízení, tak v civilním prostředí jako průzkumníci při katastrofách, sběratelé vzorků na místech pro člověka nebezpečných nebo nepřístupných. Slouží také jako hračky, se kterými se mohou bavit všechny věkové kategorie. V kombinaci s 3-D tiskem je výroba dronů mnohem jednodušší a levnější, z tohoto důvodu téměř každý může získat zkušenost s řízením létacího stroje, byť jen bezpilotního.

Tato práce se detailně zaměřuje na vysvětlení pojmu dron. Dále pojednává o tom, jak dron vlastně vznikl, k čemu se používá dnes, k jakému účelu byl vytvořen a z čeho se vyvinul. Další kapitoly se zabývají detailním rozdělením dronů, jelikož neexistuje pouze jediný druh dronu. Existuje celá řada dronů, které se od sebe ať už výrazně či méně liší. Jako příklad můžeme uvést závodní dron, který nemá baterii s tak velkou kapacitou jako například dron sloužící pro přenášení břemen nebo natáčení profesionálních videí.

Následující kapitola se věnuje komponentům dronu, kde je detailně vysvětleno, co jsou které komponenty, k čemu slouží a jak správně vybrat komponenty pro aplikaci, na kterou bude dron využit.

Podkapitola 1.6 nastiňuje pravidla, která v České republice přinesl doplněk X v leteckém předpisu L2.

Tato práce se nezabývá 3-D tiskem samotným, proto kapitola 2 pouze ve zkratce popisuje nejpoužívanější technologické postupy při 3-D tisku a nezabývá se daným tématem do hloubky.

Následující kapitola popisuje výběr komponentů pro dron, přičemž jednotlivé komponenty obsahují specifikaci a odůvodnění zvolení právě dané součásti či výběru konfigurace daného zařízení.

Návrh rámu v 3-D modelovacím prostředí Fusion 360 byl řízen jednoduchým pravidlem. Bylo zapotřebí, aby byla udržena stabilita dronu při letu a sběru vzorků, z tohoto důvodu byl použit rám typu True X se spodním zavěšení verze 2. Navržené díly, jež budou vytisknuty na 3-D tiskárně, nalezneme v kapitole 4.7.

Vzhledem k aktuální epidemiologické situaci musel být výběr komponentů změněn dle tabulky 4.1 a přílohy C, ve kterých jsou uvedeny komponenty nakoupené v České republice.

Kapitola 5 se věnuje tisku rámu na 3D tiskárně a fyzické konstrukci dronu. Mezi díly uvedenými v této práci a fyzicky tištěnými díly mohou být minoritní změny, které byly provedeny v průběhu konstrukce z důvodů zjednodušení práce nebo zlepšení funkčnosti. Nastavení pro 3-D tiskárnu, která jsou uvedena v kapitole 5, fungují velmi dobře pro Anet AM8, na které byl rám tištěn, to se ovšem mění s každou použitou tiskárnou nebo materiálem. Jelikož byl použit PLA plast, u kterého výrobce udává doporučená nastavení, musí být nalezen kompromis mezi těmito parametry a zkušenostmi, které má obsluha 3-D tiskárny.

V následující kapitole jsou detailně popsány programy, které byly použity pro testování dronu. Finální program, který zajišťuje ovládání dronu a přidává funkci gyroskopu je detailně popsán v kapitole 6.3. Tento program je v současnosti používán a laděn v reálných venkovních podmínkách.

Senzorická kapsle byla z důvodu nedostatku podkladů a materiálů vyrobena z půllitrové plechovky naplněné moukou, která simuluje kapsli jako závaží o hmotnosti 200 g.

Dron, který má jako letovou jednotku ESP32 byl velmi zajímavým tématem, ve kterém jsem viděl osobní výzvu, a proto jsem si toto téma zvolil. Vývojové desky ESP32 jsou velmi levné, mají malé rozměry, skrývají mnoho užitečných funkcí, například Wi-Fi nebo Bluetooth s funkcí BLE (Bluetooth Low Energy – Bluetooth komunikace s úsporným režimem), kterými může být například dron vylepšen nebo ovládán.

Tento projekt má do budoucna velký potenciál, protože při nákupu komponentů z Číny, návrh rámu na PC v návrhových programech, které jsou na internetu zdarma, tisku rámu a jiných částí na 3-D tiskárně, je výsledná cena dronu mnohokrát nižší než u komerčních dronů. Dále programování řídicích jednotek pilotem, umožní pilotovi odstranit nepotřebné funkce a vytvořit vlastní funkce, dle potřeb nebo použití dronu.

Navíc zkoumáním daného prostředí v různých výškových úrovních je možné odhalit dopad různých vlivů na dané prostředí.

LITERATURA

- [1] ŠUSTROVÁ, Petra a MLEJNEK, Josef. Bitva u ostrova Vis v červenci 1866 a rakouská námořní moc. In: *Moderní-Dějiny.cz* [online]. 13.7.2013 [cit 10.12.2019]. Dostupné z: <http://www.moderni-dejiny.cz/clanek/bitva-u-ostrova-vis-v-cervenci-1866-a-rakouska-namorni-moc/>
- [2] BROWN, Matt, 2018. The Forgotten Man Who Invented TV, Drones, Rocket Bikes And Strictly Come Dancing. In: *Londonist.com* [online]. 2018 [cit 9.12.2019]. Dostupné z: <https://londonist.com/london/archibald-low-the-londoner-who-invented-drones-and-guided-missiles>
- [3] RAF Aerial Target (UK, 1916-17). UAV universe [online]. [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/uavuni/1910-s>
- [4] TARANTOLA, Andrew, 2013. This Flying Bomb Failure Was America's WWI Cruise Missile. In: *Gizmodo.com* [online]. 2013 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://gizmodo.com/this-flying-bomb-failure-was-americas-wwi-cruise-missi-1184824802>
- [5] BUDANOVIC, Nikola, 2017. The Early Days Of Drones – Unmanned Aircraft From World War One And World War Two. In: *Warhistoryonline.com* [online]. 15.1.2017 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.warhistoryonline.com/military-vehicle-news/short-history-drones-part-1.html>
- [6] O'MALLEY, Dave, 2019. The Mother Of All Drones. In: *Vintagewings.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>
- [7] LEVERSEDGE, T.F.J., RYAN KDA-4 FIREBEE DRONE ROYAL CANADIAN AIR FORCE SERIÁL KD-4788, *Canada aviation and space museum aircraft* [online]. 24.8.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://documents.techno-science.ca/documents/CASM-AircraftHistories-RyanKDA-4Firebeetargetdrone.pdf>
- [8] U.S. Air Force, 2015. MQ-1 Predator [foto]. In: *Af.mil* [online]. [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104469/mq-1b-predator>
- [9] U.S. Air Force, 2019. MQ-9 Reaper [foto]. In: *Military.com* [online]. [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.military.com/equipment/mq-9-reaper>
- [10] U.S. Air Force, 2019. RQ-4 Global Hawk [foto]. In: *Military.com* [online]. [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.military.com/equipment/rq-4-global-hawk>
- [11] DORMEHL, Luke. 2018. The history of drones in 10 milestones. In: *Digitaltrends.com*. [online]. 11.8.2018 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-drones/>
- [12] U.S. Department of Transportation. FAA Drone Registry Tops One Million In: *Transportation.gov* [online]. 10.1.2018 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.transportation.gov/briefing-room/faa-drone-registry-tops-one-million>
- [13] KŮŽEL, Filip, 2018. Amazon před pěti lety slíbil, že za pět let dron nahradí dodávku. Nepovedlo se. V čem je problém?. In: *Mobilmania.cz* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/amazon-pred-peti-lety-slibil-ze-za-pet-let-dron-nahradi-dodavku-nepovedlo-se-v-cem-je-problem/sc-3-a-1343672/default.aspx>
- [14] NOVÁK, Vít, 2016. Předpisy pro létání s drony v ČR. In: *Droneweb.cz* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/37-predpisy-pro-letani-s-drony-v-cr>
- [15] DRONEOMEGA. Multirotor Propeller Rotation [foto]. In: *Droneomega.com* [online]. [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.droneomega.com/quadcopter-propeller/>

- [16] COVYBRAT. Jak vybrat dron. In: *Covybrat.cz* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://www.covybrat.cz/nejlepsi-dron/#top_ankor
- [17] DJI, 2016. *Uživatelská příručka V1.2*. [online]. DJI, 12.2016 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: [https://dl.djicdn.com/downloads/mavic/Mavic%20Pro%20User%20Manual%20v1.2%20\(CS\).pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/mavic/Mavic%20Pro%20User%20Manual%20v1.2%20(CS).pdf)
- [18] DRONE NODES. DRONE MOTOR FUNDAMENTALS – HOW BRUSHLESS MOTOR WORKS. In: *Dronenodes.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <http://dronenodes.com/drone-motors-brushless-guide/>
- [19] PERPETUM WEB DESIGN. Výběr a provoz RC modelů. In: *Modelarina.cz* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <http://www.modelarina.cz/page.html?chapter=0&id=2>
- [20] ASTRA, Spol. s.r.o. 28.11.2018. Přehledné informace o typech akumulátorů. In: *Astramodel.cz* [online]. 28.11.2018 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/prehledne-informace-o-typech-akumulatoru.html#lipo>
- [21] REDAKCE SHW, 21.2.2019. 3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna?. In: *Svethardware.cz* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457>
- [22] ABC3D. 3D TISK, PRINCIPY, TECHNOLOGIE. In: *Abc3d.cz* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/o-3d-tisku-neprehlednete/115-3d-tisk-principy-technologie>
- [23] ROZKOŠNÝ, Luboš, 12.4.2017. Technologie DMLS – 3D tisk kovů. In: *Mmspektrum.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-dmls-3d-tisk-kovu.html>
- [24] LHI OFFICIAL STORE. 4PCS/LOT LHI RS2206 2205 2204 2450KV CW / CCW Brushless Motor use for 20A ESC BLHeli_S for fpv frame QAV210 qav250 RC drone. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/4000200055746.html?spm=a2g0o.cart.0.0.124a3c00bcG4wH&mp>
- [25] GOODGOODSBUY. 10 pairs High Quality GEPRC 5040 V2 5 Inch 3 Blade Propeller Triblade Props Colver Prop Blue Yellow Pink. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32911422800.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4b7d43cb6UHVBI&algo_pvid=bf8eae1c-64cf-4d9b-9880-232758939ac2&algo_expid=bf8eae1c-64cf-4d9b-9880-232758939ac2-0&btsid=88e9d7fb-07a9-4870-a2b9-ddc325eb5f9a&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603_53
- [26] GTSKYTENRC STORE. 4pcs Original FVT LITTLEBEE BLheli-s SPRING 30A ESC 2-6S Supports Multishot DSHOT Oneshot42 OneShot125 Multicopter. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32950669122.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.2186558cY9iley&algo_pvid=0cf88f05-1b18-45ab-a33d-fcc27753c0f5&algo_expid=0cf88f05-1b18-45ab-a33d-fcc27753c0f5-1&btsid=5bdc9d04-4030-4189-91a5-9ffb16458a8d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603_53
- [27] STRUGGLE 2016 STORE. ESP32 ESP 32 ESP32S ESP-32S CP2102 Wireless WiFi Bluetooth Development Board Micro USB Dual Core Power Amplifier Filter Module. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/33020838035.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.3aca4c4dbSbGSG>
- [28] AIR TOY. Frsky XM XM+ Plus Micro D16 SBUS Full Range 2.4ghz Mini Receiver Up to 16CH for RC FPV Racing Drone w/ Antenna. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32830242101.html?spm=a2g0o.cart.0.0.716b3c00PFvgPZ&mp=1>

- [29] TBCWORTH RC LIPO BATTERY STORE. 14.8V RC Lipo Battery 4S 2200mAh 2600mAh 3300mAh 4000mAh 5200mAh6000mAh 25C 35C60C For RC Airplane Drone Helicopter Quadrotor 4S. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32974881031.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.656e6c3axmjsmM&algo_pvid=4a1022ce-b68b-4557-acf3-8e569dadf015&algo_expid=4a1022ce-b68b-4557-acf3-8e569dadf015-0&btsid=e4d60fb2-0208-417c-83ff-9264f4ed9ae8&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603_53
- [30] ROARKIT STORE. GY-NEO6MV2 new NEO-6M GPS Module NEO6MV2 with Flight Control EEPROM MWC APM2.5 large antenna for arduino. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1872389528.html?spm=a2g0o.cart.0.0.716b3c00PFvgPZ&mp=1>
- [31] ELECTRONICFANS. 1Set SPI IIC/I2C GY-9250 MPU 9250 MPU-9250 9-Axis Attitude +Gyro+Accelerator+Magnetometer Sensor Board Module MPU9250 3-5V Power. In: *Aliexpress.com* [online]. 10.12.2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32216818498.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.3aca4c4dbSbGSG>
- [32] KAMRAN, A. 2018. Arduino PWM Reader!. In: *GitHub.com* [online]. 25.6. [cit. 2.6.2020]. Dostupné z: <https://github.com/xkam1x/Arduino-PWM-Reader>
- [33] HARRINGTON, K. Servo Library for ESP32. In: *GitHub.com* [online]. 29.5. [cit. 2.6.2020]. Dostupné z: <https://github.com/madhephaestus/ESP32Servo>
- [34] TAYLOR, R. B. MPU9250. In: *GitHub.com* [online]. 2.5. [cit. 2.6.2020]. Dostupné z: <https://github.com/bolderflight/MPU9250>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

KV	Velocity konstant, konstanta rychlosti
3-D	3 dimenze
ESC	Electronic Speed Controller, elektronický ovladač rychlosti
RFC	Royal Flying Corps
RAF	Royal Air Force, Královské letectvo
RAE	Royal Aircraft Establishment
AT	Aerial Target, vzdušný cíl
ŘLP	Řízení letového provozu
FAA	Federal Aviation Administration, Federální letecká správa
CEO	Chief Executive Officer, výkonný ředitel
FPV	First Person View, pohled z první osoby
HD	High Definition, vysoké rozlišení
GPS	Global Positioning Systém, systém globálních pozic
FC	Flight Controller, letový počítač
Li-Pol	Lithium-Polymerový akumulátor
Li-Ion	Lithium-Ionový akumulátor
FFF	Fused Filament Fabrication, výroba pomocí taveného vlákna
FDM	Fused Deposition Modeling, spojování modelové depozice
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering, selektivní laserové sintrování
DMLS	Direct Metal Laser Sintering, přímé kovové laserové sintrování
CW	Clockwise, podle hodinových ručiček
CCW	Counter Clockwise, proti směru hodinových ručiček
PC	Personal Computer, osobní počítač

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Aerial Target [3]	2
Obrázek 1.2 Letoun Queen Bee [6].....	3
Obrázek 1.3 MQ-1B Predator [8].....	4
Obrázek 1.4 MQ-Reaper [9].....	4
Obrázek 1.5 RQ-4 Global Hawk [10]	5
Obrázek 1.6 Orientace rotací vrtulí multikoptér [15].....	8
Obrázek 1.7 Typy rámu kvadkoptéry.....	11
Obrázek 3.1 Programovací prostředí Arduino IDE.....	19
Obrázek 4.1 Prvotní návrh rámu typu Hybrid X.....	21
Obrázek 4.2 Sekundární návrh dronu s True X typem rámu	22
Obrázek 4.3 Pohled svrchu.....	22
Obrázek 4.4 Pohled z boku	23
Obrázek 4.5 Model ramene dronu (nalevo) a model Top plate (napravo).....	24
Obrázek 4.6 Model Bot plate (nalevo) a model nohou dronu (napravo)	24
Obrázek 4.7 Kompletní 3-D model dronu.....	26
Obrázek 4.8 Pohled zepředu.....	26
Obrázek 4.9 Pohled svrchu.....	26
Obrázek 4.10 Rameno v2	27
Obrázek 4.11 Top plate s popisky	28
Obrázek 4.12 Bot plate s popisky.....	28
Obrázek 4.13 Noha.....	28
Obrázek 5.1 Tisk ramen na 3-D tiskárně Anet AM8	29
Obrázek 5.2 Model ramene v programu Cura.....	29
Obrázek 5.3 Součásti dronu	30
Obrázek 5.4 Připevnění gyroskopu k Bot plate (nalevo) a připojení ESP32 (napravo).....	31
Obrázek 5.5 PDB připevněná k Top plate.....	32
Obrázek 5.6 Připevnění distančních sloupků pro přijímač X6B.....	33
Obrázek 5.7 Připevněná ramena k Top plate	33
Obrázek 5.8 Elektrické propojení součástí.....	34
Obrázek 5.9 Pohled svrchu na dron	35
Obrázek 6.1 Sériový monitor programu ONLY_READ_PWM_ESPDevKitv1	37
Obrázek 7.1 Test všech motorů dronu	43
Obrázek 7.2 Test podélného sklonu doprava (Roll Right).....	44
Obrázek 7.3 Test příčného náklonu dozadu (Pitch Backwards)	44

Obrázek 7.4 Testování funkce zatačení doleva (Yaw Left)	45
---	----

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Výpis rozměrů a hmotností jednotlivých komponentů	17
Tabulka 4.1 Přehled použitých komponentů	25

A NÁVRH RÁMU

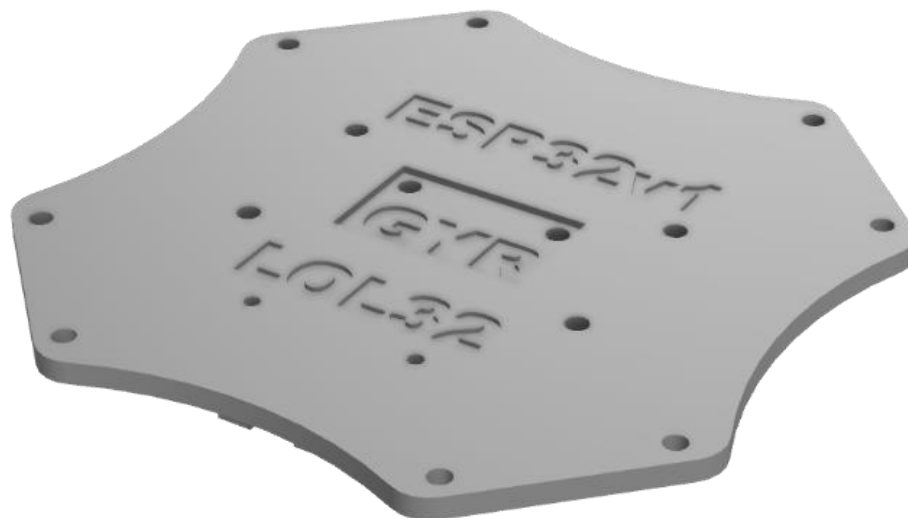
A.1 3D model ramene



A.2 3D model Top plate



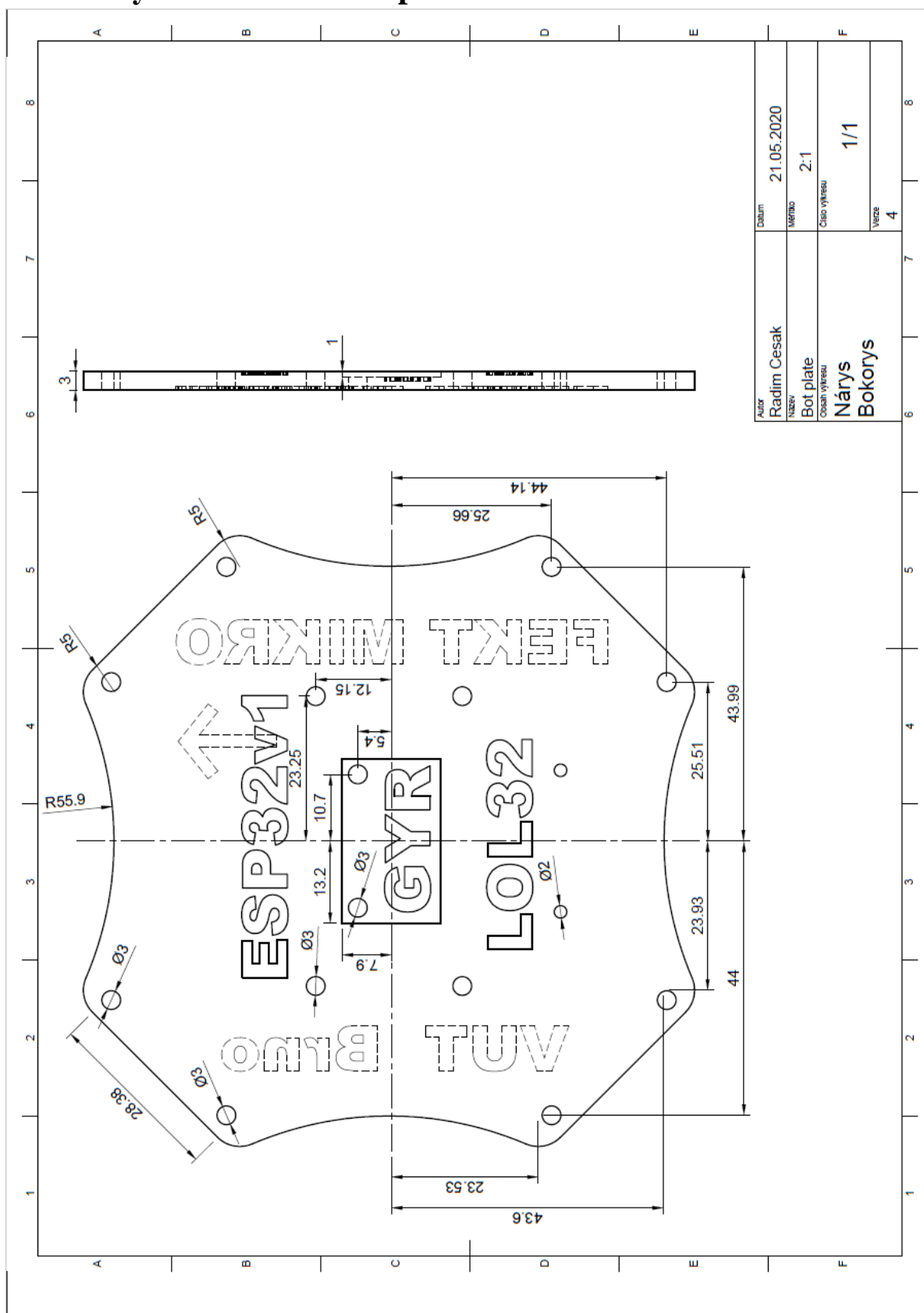
A.3 3D model Bot plate



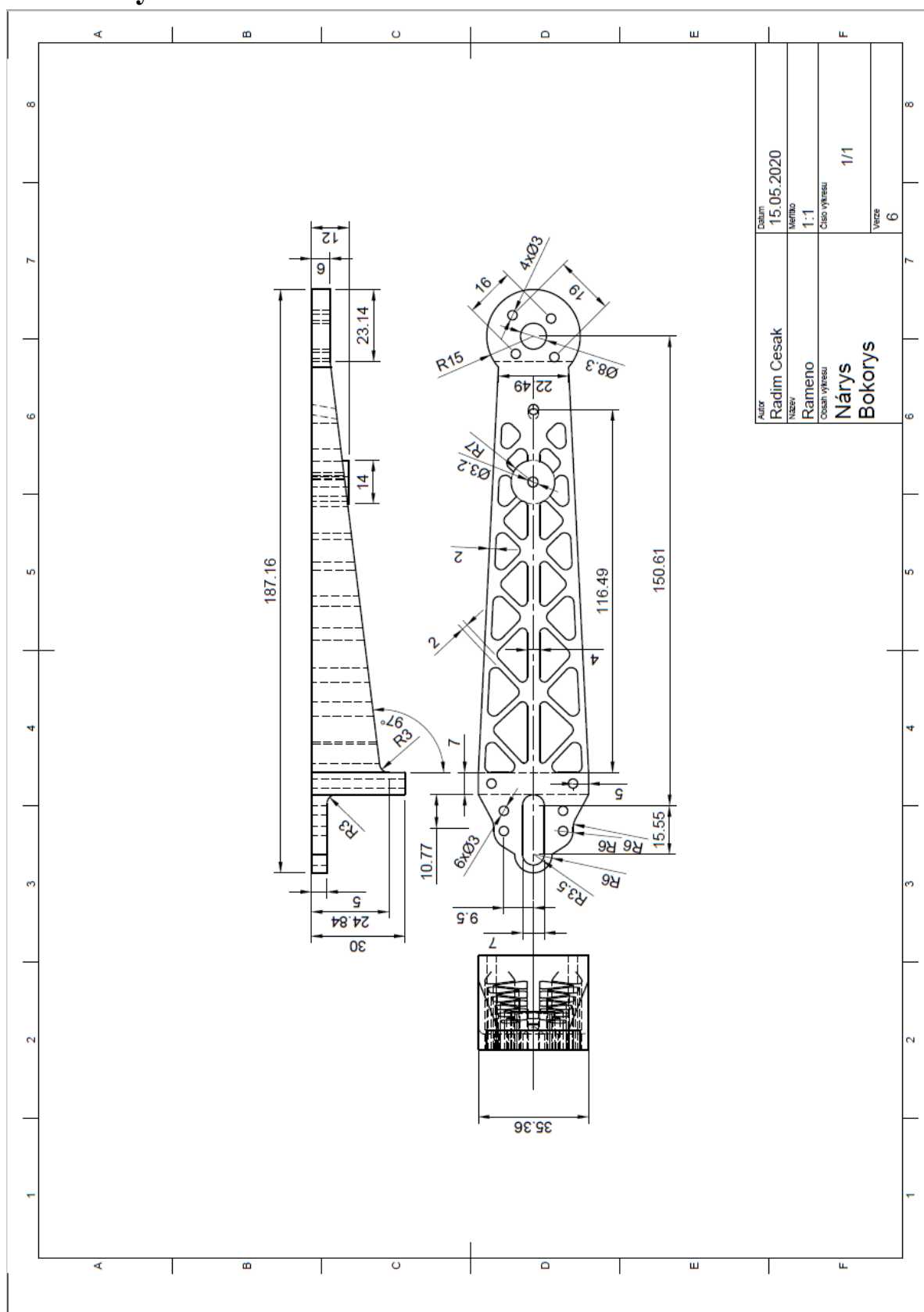
A.4 Model nohy dronu



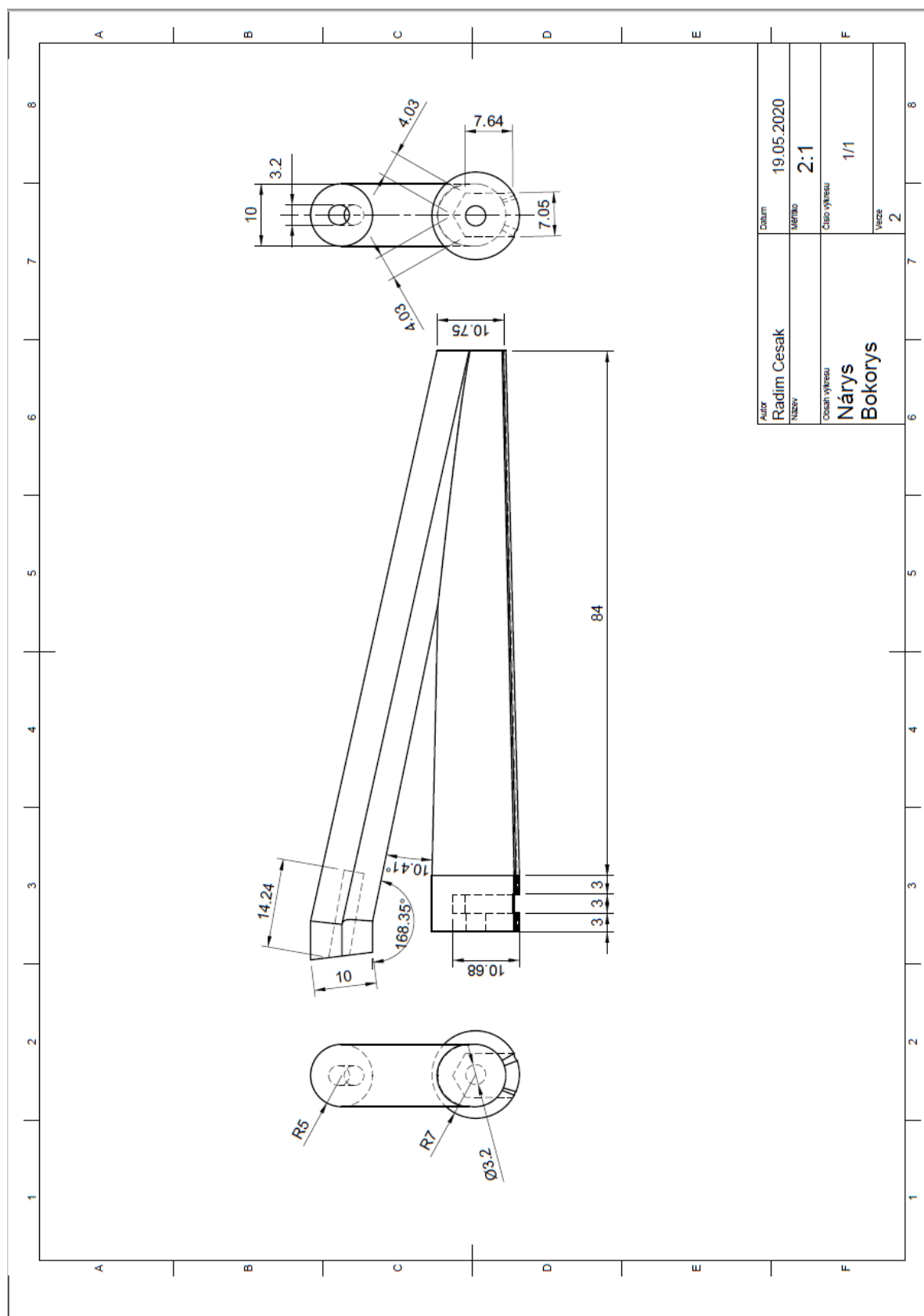
B.2 Výkres součásti Bot plate



B.3 Výkres ramene



B.4 Výkres modelu nohou dronu



C SEZNAM POUŽITÝCH KOMPONENTŮ

Komponent			
	Součást	Označení	Funkce
1	FC	ESP 32 DevKit v1	Řídící jednotka
2	ESC	Emax BIHeli-s 25 A	Elektronické ovladače rychlosti
3	Baterie	Gens Ace LiPo 4000 mAh 4S	Zdroj napětí
4	Radio přijímač	FlySky X6B	Komunikační zařízení
6	Gyroskop	GY-9250/6500	Gyroskop
7	Motory	XA2212-980KV	Pohon dronu
8	Vrtule	GPX Extreme 10x4,5 CW+CCW	-
9	Rám	Rám	-
10	Kapsle	Kapsle se senzory	-